

Aus der Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. C. Speer

**Ganganalyse des oberen Sprunggelenks rheumaerkrankter Kinder
mittels mobiler Videoaufnahme**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Alexander Elmar Hans Oskar Brede
aus Würzburg

Würzburg, September 2005

Referent: Professor Dr. med. H. Girschick

Koreferent: Professor Dr. med. M. Gekle

Dekan: Professor Dr. med. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 10.01.2006

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Definition von Rheuma	1
1.2	Einteilung der JIA-Subgruppen nach ILAR	1
1.2.1	Enthesitis-assoziierte Arthritis (EAA)	2
1.2.2	Oligoarthritis	3
1.2.3	Rheumafaktor-positive Polyarthritis	4
1.2.4	Rheumafaktor-negative juvenile Polyarthritis	5
1.2.5	Morbus Still	6
1.3	Das obere Sprunggelenk	7
1.4.	Bisherige Erkenntnisse zu Ganganalysen	7
1.5	Der normale Gang	9
1.6	Probleme der Ganganalyse	10
1.7	Ganganalyse in der Kinderrheumatologie	11
2.	Material und Methoden	12
2.1	Auswahl der Patienten und deren Einteilung	12
2.2	Aufnahme der Patienten	14
2.3	Auswertung der Aufnahmen	16
3.	Ergebnisse	28
3.1	Vergleich der Gangarten zwischen den Schweregrad-Gruppen G0, G1-4 und G5-10	28
3.1.1	Vergleich im normalen Gang	28

3.1.1.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4	29
3.1.1.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10	29
3.1.1.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10	30
3.1.2 Vergleich der Gruppen im Zehenspitzen gang	31
3.1.2.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4	31
3.1.2.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10	31
3.1.2.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10	32
3.1.3 Vergleich der Gruppen im Fersengang	33
3.1.3.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4	33
3.1.3.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10	33
3.1.3.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10	33
3.2 Vergleich der Gangarten zwischen Mädchen und Jungen der jeweiligen Schweregrad-Gruppen Grading 0, Grading 1-4 und Grading 5-10	38
3.2.1 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(0)-Gruppe	38
3.2.1.1 Vergleich des Normalgangs	38
3.2.1.2 Vergleich des Zehenspitzen gang	38
3.2.1.3 Vergleich des Fersengang	39
3.2.2 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(1-4)-Gruppe	40
3.2.2.1 Vergleich des Normalgangs	40
3.2.2.2 Vergleich des Zehenspitzen gang	40
3.2.2.3 Vergleich des Fersengang	40
3.2.3 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(5-10)-Gruppe	41
3.2.3.1 Vergleich des Normalgangs	41
3.2.3.2 Vergleich des Zehenspitzen gang	41
3.2.3.3 Vergleich des Fersengang	41
3.3 Vergleich der Gangarten zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren der jeweiligen Schweregrad-Gruppen Grading 0, Grading 1-4 und Grading 5-10	52

3.3.1 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(0)-Gruppe	52
3.3.1.1 Vergleich des Normalgangs	52
3.3.1.2 Vergleich des Zehenspitzengangs	52
3.3.1.3 Vergleich des Fersengangs	53
3.3.2 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(1-4)-Gruppe	53
3.3.2.1 Vergleich des Normalgangs	53
3.3.2.2 Vergleich des Zehenspitzengangs	54
3.3.2.3 Vergleich des Fersengangs	54
3.3.3 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(5-10)-Gruppe	54
3.3.3.1 Vergleich des Normalgangs	54
3.3.3.2 Vergleich des Zehenspitzengangs	54
3.3.3.3 Vergleich des Fersengangs	55
3.4 Vergleich der Plantarflexion und Dorsalextension zwischen klinischer Untersuchung, Normalgang und den Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs	65
3.4.1 Vergleich in der Grading-(0)-Gruppe	65
3.4.2 Vergleich in der Grading-(1-4)-Gruppe	66
3.4.3 Vergleich in der Grading-(5-10)-Gruppe	66
3.5 Vergleich der Patienten im Verlauf	71
3.5.1 Der Verlauf von Patient A	71
3.5.2 Der Verlauf von Patient B	71
3.5.3 Der Verlauf von Patient C	72
3.5.4 Der Verlauf von Patient D	72
3.5.5 Der Verlauf von Patient E	73
3.5.6 Der Verlauf von Patient F	73
3.5.7 Der Verlauf von Patient G	74

4.	Diskussion	82
4.1	Interpretation der Ergebnisse	82
4.1.1	Der normale Gang	82
4.1.2	Vergleich der Gangarten zwischen den Schweregrad-Gruppen G0, G1-4 und G5-10	82
4.1.3	Vergleich der Plantarflexion und Dorsalextension zwischen klinischer Untersuchung, Normalgang und den Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs	84
4.1.4	Vergleich der Patienten im Verlauf	88
4.1.5	Vergleich des Gangbildes in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter	90
4.2.	Beurteilung unserer Ganganalyse	93
5.	Zusammenfassung	95
6.	Literaturverzeichnis	96

1. Einleitung

1.1 Definition von Rheuma

Der Begriff „Rheuma“ ist ein viele Krankheitsbilder umfassender Begriff. Eine nun allgemein gültige Definition lautet: „Krankheiten, die sich am Bewegungsapparat abspielen (Muskeln, Sehnen, Knochen, Bänder, Muskelhüllen usw.), die Schmerzen verursachen, bei denen Bewegungseinschränkungen auftreten und die möglicherweise innere Organe (Herz, Lunge, Leber usw.) miterkranken lassen“¹.

Hingegen der allgemeinen Annahme, dass es sich hierbei um Erkrankungen ausschließlich im Erwachsenenalter handelt, gibt es eine große Anzahl von sehr jungen Patienten, die sich aufgrund rheumatischer Beschwerden in Behandlung befinden.

Dieser Formenkreis von rheumatischen Erkrankungen wurde früher als Juvenile chronische Arthritis (JCA) beziehungsweise seit neuerem Juvenile Idiopathische Arthritis (JIA) bezeichnet und vom Rheuma des Erwachsenen abgegrenzt. Die Juvenile chronische Arthritis ist definiert als eine Entzündung einer oder mehrerer Gelenke von mindestens drei Monaten Dauer (EULAR, WHO)². Eine frühere amerikanische Definition (juvenile rheumatische Arthritis) erforderte sechs Wochen Dauer². In der neuesten Klassifikation der International League Against Rheumatism (ILAR) wird für die JIA ebenso eine Erkrankungsdauer von sechs Wochen gefordert. Der Beginn der Erkrankung muss laut Definition bis zum 16. Lebensjahr stattgefunden haben².

Vom epidemiologischen Aspekt her besteht eine Inzidenz von vier bis fünf Neuerkrankungen unter 100.000 Kindern. Dies entspricht 750 bis 1000 Neuerkrankungen pro Jahr in Deutschland. Die Prävalenz beträgt 20 Erkrankungen unter 100.000 Kindern – somit sind in Deutschland schätzungsweise 4000 bis 5000 Kinder an der Juvenilen Arthritis erkrankt².

1.2 Einteilung der JIA-Subgruppen nach ILAR

Im Kindesalter gibt es eine Vielzahl von Subgruppen rheumatischer Erkrankungen. Es sollen im folgenden sechs Krankheitsbilder näher erläutert werden, die

im Patientengut unserer Studie vorhanden sind. Hierbei handelt es sich zum einen um die **Enthesitis-assoziierte Arthritis**, die **persistierende Oligoarthritis** und die **erweiterte Form**, die **Rheumafaktor-positive** sowie die **Rheumafaktor-negative Polyarthritis** und den **Morbus Still** – alle sind Termini der neuesten ILAR-Klassifikation ³.

1.2.1 Enthesitis-assoziierte Arthritis (EAA)

Die Enthesitis-assoziierte Arthritis ist ein Begriff der ILAR-Klassifikation ³. Es handelt sich um eine Arthritis mit zusätzlicher Enthesitis, d.h. einer Entzündung von Sehnen und Sehnenansätzen. Sie wurde auch als undifferenzierte juvenile Spondylarthropathie bezeichnet. Juvenile Spondylarthropathien sind entzündliche Erkrankungen von Achsenskelett und – besonders im Kindesalter deutlich häufiger auftretend – peripheren Gelenken. Juvenile Spondylarthropathien sind mit 15 – 20 % aller Kinder mit chronischer Arthritis die zweithäufigste entzündliche Gelenkerkrankung. Sie befällt vornehmlich Jungen und tritt nach dem sechsten Lebensjahr stärker in Erscheinung ³. Die Ätiopathogenese ist weitgehend unbekannt. Durch eine familiäre Häufung und die Assoziation mit dem Vorhandensein des Histokompatibilitätsmerkmals HLA-B27 bei etwa 50% ³ aller EAA-Patienten geht man unter anderem von einer genetischen Disposition aus.

Nachdem nur ein kleiner Prozentsatz der jungen Patienten einen Wirbelsäulenbefall aufweist, wird die Diagnose durch eine periphere Arthritis zusammen mit Enthesitis – insbesondere der unteren Extremität – gestellt.

Die asymmetrische, häufig oligoartikuläre Gelenkentzündung befällt häufig das obere und untere Sprunggelenk, das Großzehengrundgelenk sowie die restlichen Zehengelenke von Dig. II – V. Extraartikulär besteht oft sowohl eine Enthesiopathie der Achillessehne und Plantaraponeurose mit Schmerzen und Schwellung als auch Schmerzen bei Kompression des Fußquergewölbes – Gaensslen-Zeichen genannt.

Tritt die Enthesitis-assoziierte Arthritis nur isoliert als Arthritis oder Enthesitis auf und bestehen keine Ausschlusskriterien, dann kann die Diagnose nur bei Erfüllung von mindestens zwei der folgenden klinischen Kriterien gestellt werden.

- 1) Druckschmerzhaftes Ileosakralgelenke beziehungsweise entzündlicher Rückenschmerz
- 2) Vorhandensein von HLA B-27
- 3) Medizinisch gesicherte HLA B-27-assoziierte Erkrankung bei einem Verwandten ersten oder zweiten Grades
- 4) Uveitis anterior mit Schmerzen, Rötung oder Photophobie
- 5) Auftreten der Arthritis bei einem Jungen im Alter von mindestens sechs Jahren ³.

Ausgeschlossen wird die Enthesitis-assoziierte Arthritis bei systemischer Arthritis oder Arthritis mit entzündlicher Darmerkrankung ⁴, bei dermatologisch gesicherter Psoriasis mindestens eines Familienmitglieds ersten oder zweiten Grades ³, bei vorhandenen ANA und RF ⁴.

1.2.2 Oligoarthritis

Die Oligoarthritis bezeichnet im allgemeinen eine Gelenkentzündung an wenigen – d.h. ein bis vier – Gelenken innerhalb der ersten Monate der Erkrankung. Hingegen einer früheren Einteilung in eine frühkindliche Form, die sogenannte Typ-I-Oligoarthritis – vor dem 6. Lebensjahr auftretend – und eine Spätform, die Typ-II-Oligoarthritis ³, wird sie seit 1997 in eine persistierende und eine erweiterte Form, welche sich von der Anzahl der betroffenen Gelenke sechs Monate nach Krankheitsbeginn unterscheiden, unterteilt ⁵.

Die persistierende Oligoarthritis befällt maximal vier Gelenke innerhalb des gesamten Krankheitsverlaufs, während die erweiterte Oligoarthritis erst nach den ersten sechs Monaten der Erkrankung mindestens fünf Gelenke in Mitleidenschaft zieht.

Differentialdiagnostisch liegt eine Oligoarthritis definitionsgemäß nicht vor, wenn in der Familie zum einen bei einem Verwandten ersten oder zweiten Grades eine dermatologisch gesicherte Psoriasis, oder zum anderen eine HLA-B27 assoziierte Erkrankung existiert. Des Weiteren ist eine Oligoarthritis unwahrscheinlich, wenn bei einem über acht Jahre alten, HLA-B27-positiven männlichen Patient eine Arthritis auftritt – in diesem Falle ist eher an eine Enthesitis-

assoziierte Arthritis zu denken. Zudem schließen ein positiver Rheumafaktor sowie das Vorhandensein einer systemischen Arthritis die sogenannte Oligoarthritis aus.

Vom Befallsmuster her können nur große oder nur kleine Gelenke betroffen sein. Aber auch eine Dominanz des Hüftgelenkbefalls kann der Fall sein. Hierbei wird unterschieden, ob speziell der obere beziehungsweise der untere Bereich oder beide Bereiche in gleichem Maße betroffen sind. Ebenso kann ein anderes Gelenk in besonderer Weise von der Oligoarthritis befallen werden. Das Auftreten einer Uveitis anterior ist häufig. Labortechnisch sind bei einem Großteil der Betroffenen antinukleäre Antikörper (ANA) feststellbar. Zudem besteht eine Assoziation zu bestimmten HLA-I- und HLA-II-Allelen ⁵.

1.2.3 Rheumafaktor-positive Polyarthritis

Die Rheumafaktor-positive juvenile Polyarthritis ist je nach Kohorte nur bei 5 – 10 % aller rheumaerkrankten Kinder vorhanden. Mädchen erkranken signifikant häufiger als Jungen und zwar im späten Kindesalter beziehungsweise in der Adoleszenz. Es ist nur bedingt eine Assoziation zu HLA-DR4 wie beim Erwachsenen anzutreffen. Der Verlauf ist mit der chronischen Polyarthritis des Erwachsenen sehr ähnlich. Schon sehr früh werden insbesondere Hand-, Finger- und Zehengelenke destruierend befallen. Als Folge hiervon zeigen sich Subluxationen und Fehlstellungen wie Ulnardeviationen der MCP-Gelenke, Knopfloch- und Schwanenhalsdeformität durch pathologischen Zug der Beugesehnen. Zudem können an den Streckseiten der Extremitäten subkutane Rheumaknötchen getastet werden. Hierbei handelt es sich um palisadenartige Granulome.

Extraartikulär kann darüber hinaus eine Vaskulitis der kleinen und mittleren Gefäße mit Beteiligung innerer Organe bestehen. Das Vorhandensein einer Iridozyklitis ist möglich, aber bedeutend seltener und prognostisch unkomplizierter als bei den Oligoarthritis. Ebenfalls können eine Lymphadenopathie und eine leichte Hepatomegalie vorhanden sein. Zusätzlich können Kinder mit Rheumafaktor-positiver Polyarthritis unter subfebrilen Temperaturen, Leistungsknick, Gewichtsabnahme, Wachstumsstillstand, Retardierung von Wachstum und Entwicklung sowie emotionaler Instabilität leiden. In der Röntgendiagnostik fin-

den sich oft schon nach Monaten Erosionen und Destruktionen der Hand-, Finger- und Zehengelenke. Wie der Name schon verrät, wird die Diagnose durch nachweisbare Rheumafaktoren gesichert. Deren Titer sowie vor allem die Werte von CRP und BSG spiegeln den Schweregrad der Krankheit wider.

Aufgrund des schnellen progredienten Verlaufs ist die Prognose oft schlecht. Es können aber auch Reparationsvorgänge unter adäquater entzündungshemmender Therapie stattfinden³.

1.2.4 Rheumafaktor-negative juvenile Polyarthrit

Die Rheumafaktor-negative juvenile Polyarthrit ist mit 20 – 25 % bei den rheumatischen Krankheitsbildern im Kindesalter vertreten. Es erkranken etwas mehr Mädchen als Jungen im Alter von zwei bis fünf Jahren. Es besteht eine Assoziation zu HLA-DR1 und –DPw3. Im Vorfeld der artikulären und organischen Klinik können im Zeitraum von Monaten Gedeihstörungen, Gewichtsverlust und subfebrile Temperaturen beobachtet werden. Befallen werden insbesondere Handgelenke, Fingergelenke der MCP- und PIP-Reihe – analog auch jene Gelenke am Fuß – alle großen Gelenke, Gelenke der Halswirbelsäule sowie das Kiefergelenk durch Wachstumsstörung der Mandibula. In der Mehrzahl der Fälle imponiert eine deutliche Bewegungseinschränkung, während Schwellung, Erguss und Überwärmung in den Hintergrund fallen. Es können Synovialischwellungen über den Handgelenken und Bakerzysten in der Poplitea bestehen. Der weitere Verlauf ist gekennzeichnet durch Ulnardeviation der Handgelenke, Flexionskontraktur der PIP-Gelenke, durch Pes-planus- und Hallux-valgus-Deformität mit Über- und Unterkreuzungsverhalten der kleinen Zehen. Zudem kann an den kleinen Gelenken durch vorzeitigen Epiphysenschluss ein Wachstumsstillstand eintreten, wohingegen die großen Gelenke durch entzündungsbedingte Hyperämie anfänglich zumindest oft ein verstärktes Wachstum erfahren. Im Labor fallen Entzündungsparameter wie CRP und BSG manchmal nur mäßig erhöht aus. Auch Rheumafaktoren und Antinukleäre Antikörper sind häufig nicht nachweisbar, wodurch diese Form der Polyarthrit ihren Namen erhalten hat. Die Röntgendiagnostik kann an den betroffenen Gelenken eine deutliche gelenknahe Osteoporose zeigen. Spät diagnostiziert ist

die Prognose mit einer Restitutio ad integrum von zum Beispiel 10 % Wahrscheinlichkeit oft deutlich eingeschränkt ³.

1.2.5 Morbus Still

Der Morbus Still ist die systemische Form der juvenilen chronischen Arthritis und ist mit bis zu 20 % vertreten. Er ist nicht geschlechtsspezifisch und befällt Kinder zwischen dem ersten und vierten Lebensjahr. Er stellt die schwerste Verlaufsform einer rheumatischen Erkrankung im Kindesalter dar. Zunächst manifestiert er sich meist in Form von Arthralgien vor allem der Halswirbelsäule. Neben Allgemeinsymptomen wie Appetitlosigkeit, Gewichtsverlust, Muskelschmerzen etc. sind für die Diagnose folgende klinische Hinweise wichtig: Mindestens für zwei Wochen treten täglich intermittierende Fieberschübe auf. Typisch ist zudem ein flüchtiges lachsfarbenes makulopapulöses Exanthem an Stamm und proximalen Extremitäten, der Befall von inneren Organen in Form von Polyserositis mit Schmerzen bei Atembewegungen und Aszites. Außerdem kann eine generalisierte Lymphknotenschwellung und eine Hepato- und/oder Splenomegalie bestehen. Eine Arthritis sollte innerhalb der ersten sechs Monate auftreten und mindestens für sechs Wochen bestehen, um die Diagnose des Morbus Still stellen zu können. Die Arthritis befällt bevorzugt Handgelenke, Ellenbogen, Schultern, Hüften, Kniee und Sprunggelenke. Es können zusätzlich Bakerzysten beobachtet werden. Die Labordiagnostik zeigt unter anderem hohe Werte von BSG, CRP und Akute-Phase-Proteinen, eine Leuko- und Thrombozytose und eine deutliche hypochrome Anämie. Diese sind aber nicht spezifisch für den Morbus Still. Radiologisch können Erosionen, Destruktionen und eine lokale oder systemische Osteoporose zu erkennen sein.

Im Verlauf dieser Erkrankung werden circa 60 % der betroffenen Patienten systemisch befallen. Dank des Fortschritts in der immunsuppressiven Therapie konnten die letalen Verläufe auf unter 1 % reduziert werden. Bei 20 – 30 % der Patienten können Remissionen auf Dauer erfolgen ³.

1.3 Das obere Sprunggelenk

Wie oben bereits geschildert, werden sehr häufig Gelenke der unteren Extremität befallen, wodurch die Patienten in ihrer Fortbewegung eingeschränkt werden. In unserer Studie galt unser Interesse vor allem dem oberen Sprunggelenk (OSG). Es befindet sich zwischen Malleolengabel, die aus den Unterschenkelknochen Tibia und Fibula gebildet wird, und dem Talus. Durch die anatomische Anordnung ergibt sich ein Scharniergelenk, dessen Bewegungsrichtungen nach proximal Dorsalextension und nach distal Plantarflexion bezeichnet werden ⁶.

Unsere Intention bestand darin, neben der passiven klinischen Untersuchung auf einfachem Wege ein weiteres Messverfahren heranzuziehen, welches darstellen soll, inwieweit der Patient durch den OSG-Befall beim aktiven Laufen eingeschränkt wird. Dabei sollte die Methode kostengünstig und im klinischen Alltag anwendbar sein. Für dieses Projekt bot sich daher eine videogestützte Ganganalyse an.

1.4 Bisherige Erkenntnisse zu Ganganalysen

Ganganalysen haben die Aufgabe, detaillierte Informationen über ein Gangbild – ob physiologisch oder pathologisch – und somit über den Bewegungsablauf, vor allem der unteren Extremität, zu liefern. Neben der klinischen Untersuchung kann der Betrachter durch diese Methode präziser und konzentrierter sein Augenmerk auf die einzelnen Komponenten und Bewegungen der Gelenke in den verschiedenen Gangzyklen richten.

In den letzten Jahrzehnten konnten durch die Ganganalyse erste Erkenntnisse in verschiedenen Fachgebieten gewonnen werden. Am meisten fand bisher die Ganganalyse in der Neurologie Verwendung. So wurden Kinder mit diversen Störungen des Zentralen Nervensystem ganganalytisch untersucht. Hierbei wurden unter anderem Unterschiede im Gangmuster zwischen spastisch gelähmten Kindern, idiopathischen Zehengängern und einer gesunden Kontrollgruppe, die aufgefordert war, auf Zehenspitzen zu laufen, herausgefunden ⁷. Sie wurde ebenso zur Beurteilung der Therapie von an spastischer Zerebralparese erkrankter Kinder mittels Botulinustoxininjektion eingesetzt ^{8, 9}. Auch die Fragestellung, ob Kinder mit dieser Krankheit von alleiniger Physiotherapie oder

von deren Kombination mit einem chirurgischen Eingriff profitieren, konnte durch die Ganganalyse beantwortet werden ¹⁰. Des Weiteren gewinnt die Durchführung einer Ganganalyse auch in der Orthopädie und Chirurgie an Bedeutung. Hierbei wurden an Patienten mit Hüftosteoarthritis Kompensationsmechanismen und deren Auswirkungen auf eine potentielle Hüftprothese beschrieben ¹¹.

Erst kürzlich wurde der Einfluss einer Knieosteoarthritis auf das Gangbild beschrieben ¹².

Zudem gibt sie Aufschluss über den Einfluss des Gangbildes durch das Tragen von Schuhen und welches Schuhwerk in den ersten Gehjahren sich besonders günstig auswirkt. Auch in der Erprobung von Sportschuhen wird diese Technologie angewandt ¹¹.

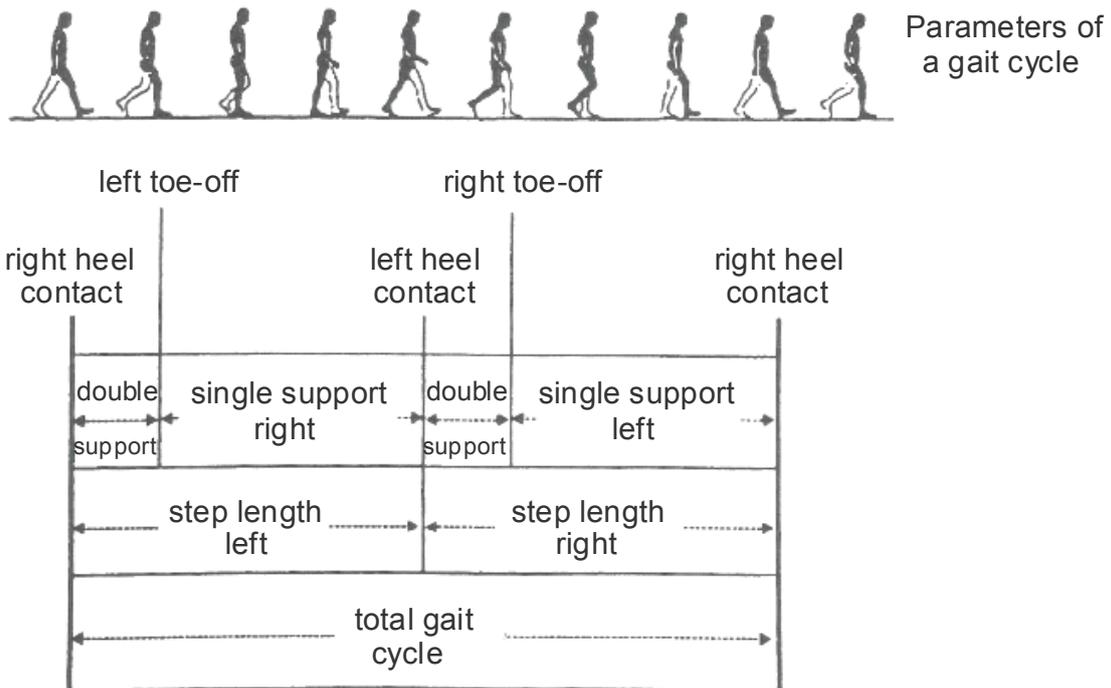
Wissenschaftler fanden unter anderem heraus, dass die Durchführung moderner Ganganalysen neben der klinischen Untersuchung zu einer besseren, objektiveren Planung, Durchführung und Dokumentation von operativen Eingriffen oder anderen therapeutischen Maßnahmen beitragen können im Vergleich zu einer klinischen Untersuchung allein ¹³ ¹⁴ ¹⁵ ¹⁶.

Darüber hinaus soll die Ganganalyse in der Unterscheidung und Erkennung verschiedener neurologischer Krankheitsbilder bezüglich ihrer Subgruppen beziehungsweise Ausprägungen der klinischen Untersuchung überlegen sein ¹⁷.

In mehreren Studien wurden Ganganalysen mit Elektromyogrammen ¹⁸ ¹⁹ sowie sogenannten „force plates“ beziehungsweise Kistlerplatten – es handelt sich hierbei um Messgeräte zur Erfassung der Kraftentwicklung/Leistung der unteren Extremität – kombiniert, um konkretere Aussagen über den Energieverbrauch während des Gangzyklus beziehungsweise unterschiedlicher Bewegungsmuster fällen zu können ²⁰ ²¹. Andere Arbeitsgruppen bedienten sich einer ähnlichen Methode mittels Laufbänder – sogenannten „force measuring treadmills“ ²². Dabei wurde konstatiert, dass der Energieverbrauch am geringsten ist, je mehr das Gangbild dem physiologischen Gangbild entspricht. So sollen zum Beispiel Gehhilfen nach dieser Erkenntnis entwickelt und eingesetzt werden ²³.

Ferner findet die Ganganalyse auch im forensischen Bereich zur Identifizierung von Bankräubern, deren Gangbild während des Überfalls von einer Überwachungskamera aufgezeichnet wurde, Verwendung ²⁴.

1.5 Der normale Gang



Adaptive Gait Pattern in Children

Abb. 1.5-1 ²⁵

Dabney definiert den normalen Gang als eine effiziente und rhythmische Bewegung, die Körper und Gliedmaßen mit minimalem Energieaufwand vorankommen lässt ²⁶. Ein Gangzyklus wird unterteilt in eine Standphase und eine Schwungphase. Beim normalen Gang macht die Standphase einen Anteil von 60 % aus. Sie beginnt mit dem Fuß-Boden-Erstkontakt und endet, wenn der Fußballen den Bodenkontakt wieder verliert. Hier startet die sich anschließende Schwungphase und wird durch den ersten Fuß-Boden-Kontakt wieder terminiert ²⁶. ⁸. Im Laufe der Kindheit ändert sich der Gang durch Veränderungen des kindlichen Skeletts. So wird die initial im ersten Lebensjahr bestehende physio-

logische O-Bein-Stellung etwa ab der Gehfähigkeit im Alter von 18 Monaten bis drei Jahren in eine präferentielle X-Bein-Stellung vom Körper umgewandelt. Diese Stellung korrigiert sich spontan im Alter von sechs bis sieben Jahren zum Geradstand ²⁷. Mit drei Jahren beginnt das Gangbild zu reifen ²⁶. Mit vier bis sechs Jahren sollten Kinder ein sogenanntes „reifes“ Gangbild aufweisen ^{28, 44, 46, 47}. Eine andere Studie ist jedoch der Auffassung, dass Kinder im Alter von sieben Jahren aufgrund von noch nicht abgeschlossener neuromuskulärer Entwicklung – hauptsächlich im Sprunggelenksbereich – das erwachsene Gangmuster noch nicht erreicht haben ²⁹. Laut einer anderen Studie scheint die Gestalt des Gangbildes eine Dynamik an den Tag zu legen, nachdem Unterschiede im Gangbild zwischen jungen Erwachsenen und Menschen höheren Alters festgestellt wurden ³⁰.

1.6 Probleme der Ganganalyse

Trotz aller bisherigen Ergebnisse und Fortschritte in den letzten Jahrzehnten ¹⁶ ist die Ganganalyse ein noch sehr junges Untersuchungsverfahren. Sie befindet sich immer noch in der Entwicklung, wird aber als eine vielversprechende Untersuchungsmethode angesehen – besonders in der Rehabilitation von Kindern mit Gangproblemen ¹⁵. Bisher gestaltet es sich außerdem nach wie vor schwierig, eine standardisierte Ganganalyse durchzuführen. Verschiedene Institute verwenden unterschiedliche methodische Systematiken und Auswertungssysteme, zum Beispiel den CODA-3 motion analyser ⁷, das Vicon 370 Motion Analysis System ^{23, 13, 31} und das HiRes ExpertVision Motion Analyses System ³², um nur einige zu nennen. Auch die Anzahl der eingesetzten Kameras differiert. So werden unter anderem fünf ¹⁰ bis sechs Kameras ^{33, 32, 34} angewendet. Andere Studien wiederum bedienen sich nur eines Aufnahmegerätes ⁸. Ein modernes Ganglabor besteht aus sechs Kameras und zwei „forceplates“ oder Kistlerplatten. Die jährlichen Ausgaben belaufen sich hierbei im amerikanischen Schrifttum auf 200.000 US-Dollar, eine Untersuchung kostet 1.800 - 2.000 US-Dollar ¹⁵.

Manche Institute ziehen in der Analyse Computer- und Magnetresonanztomogramme mit ein ²¹.

Andere zweifeln jedoch den Sinn der Durchführung solcher Verfahren an, nachdem bisher nicht eindeutig geklärt ist, ob der erhebliche Kosten- und Zeitaufwand einen entsprechenden klinischen Nutzen mit sich bringen ^{15, 25}.

1.7 Ganganalyse in der Kinderrheumatologie

Bis heute ist die Ganganalyse in der Kinderrheumatologie noch nicht etabliert. Nur wenige Artikel konnten hierzu gefunden werden. In unserer Studie richteten wir unser Augenmerk auf das obere Sprunggelenk (OSG) bei rheumatisch erkrankten Kindern. Unser Ziel war es, ein ganganalytisches Verfahren zu entwickeln, welches zum einen kostengünstig und im klinischen Alltag leicht und schnell anzuwenden ist, zum anderen weitere und korrelierende Aussagen zur üblichen klinischen Untersuchung liefern kann. Wir entschieden uns für eine Ganganalyse, die mit nur einer handelsüblichen Videokamera aufgezeichnet wurde.

2. Material und Methoden

2.1 Auswahl der Patienten und deren Einteilung

Nach sorgfältiger Analyse unseres Patientenregisters, legten wir fest, welche Kinder zur Ganganalyse des oberen Sprunggelenkes (OSG) in Frage kommen können. Wir suchten nach rheumatisch erkrankten Patienten, deren oberes Sprunggelenk im Rahmen der Erkrankung befallen ist. Die anfänglich anvisierte Patientengruppe der Enthesitis-assoziierten Arthritis wurde aufgrund der zu geringen Anzahl erreichbarer Patienten erweitert. Hinzu kamen Patienten mit dem Krankheitsbild der Oligoarthritis, der Rheumafaktor-positiven sowie der Rheumafaktor-negativen Polyarthritis und des Morbus Still. Es wurden Patienten mit Einbezug des OSG analysiert. In Orientierung an den Befund der klinischen Untersuchung wurden sie in leicht und schwer Betroffene unterteilt. Die Einteilung wurde nach den Kriterien

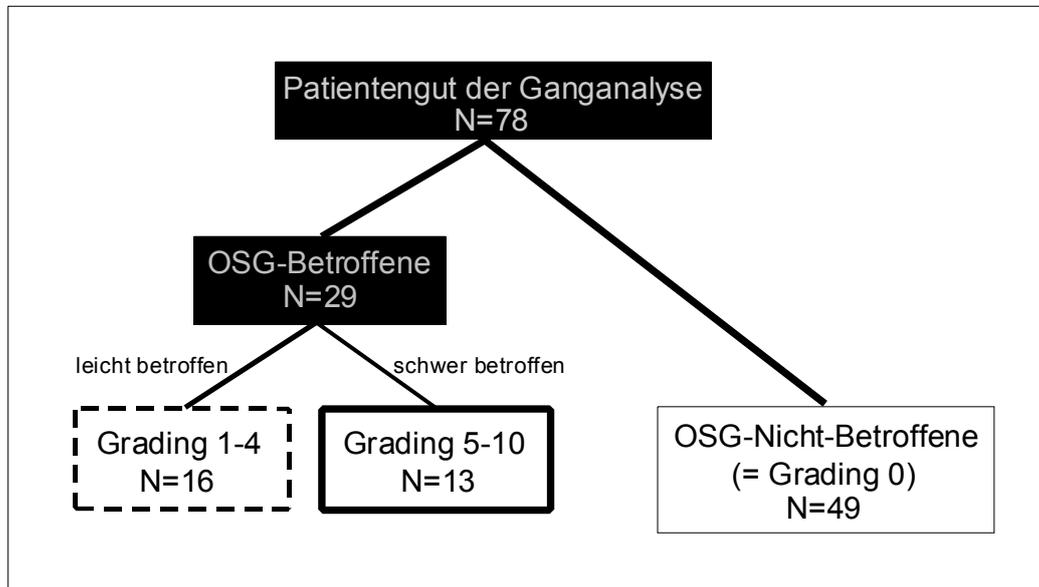
- 1) Bewegungseinschränkung des Gelenks
- 2) Schmerzen im OSG
- 3) Erguss im OSG
- 4) Weichteilschwellung des umgebenden Gewebes
- 5) Deformität/Fehlstellung

vorgenommen. Je nach Vorhandensein beziehungsweise Ausprägung des einzelnen Kriteriums wurden Punkte vergeben.

Punkte	
0	Kriterium nicht vorhanden
1	Kriterium leicht ausgeprägt vorhanden
2	Kriterium deutlich ausgeprägt vorhanden

Anhand der beschriebenen Anzahl der Kriterien können bei maximaler Ausprägung einer Arthritis mit chronischer Aktivität und Destruktion bis zu 10 Punkte vergeben werden. Durch dieses Grading wurden OSG-leicht-betroffene Patienten mit 1 bis 4 Punkten (**Grading 1-4**) versehen, OSG-schwer-Betroffene erhielten klinisch 5 bis 10 Punkte (**Grading 5-10**).

Des Weiteren wurden Rheuma-Patienten gefilmt, die keine Beteiligung des oberen Sprunggelenks aufwiesen (OSG-Nicht-Betroffene, **Grading 0**) und als Kontrollgruppe behandelt.



N ist die jeweilige Fallzahl an gefilmten Sprunggelenken

Abb. 2.1-1

Nach Entwicklung eines geeigneten Aufnahme- und Auswertungsverfahrens, welches wir nach ersten Versuchen erstellten, haben wir von unseren Aufnahmen insgesamt 39 Patienten im Alter von sechs bis zwanzig Jahren ausgewertet. Davon wurden sieben im Verlauf zu verschiedenen Zeitpunkten gefilmt. Sie wiesen keine Beinlängendifferenz und keine neurologischen beziehungsweise neuromuskulären Auffälligkeiten auf. Ihr Alter betrug mindestens sechs Jahre, zum einen weil oben genannte Studien herausfanden, dass der Gang erst mit circa sechs Jahren ausgereift zu sein scheint, zum anderen weil Kinder unter sechs Jahren unzuverlässig kooperieren.

Es zeigte sich, dass in der analysierten Patientenkohorte das linke und rechte obere Sprunggelenk nach ihrem Schweregrad der Betroffenheit/klinisches Grading keine signifikanten Winkelunterschiede lieferten und somit zusammengefasst werden konnten. Das erklärt die in der Abbildung angegebene höhere Fallzahl im Vergleich zu der Anzahl der ausgewerteten Patienten, wie es auch bei anderen Studien der Fall ist ³².

2.2 Aufnahme der Patienten

Die Patienten wurden während der Rheumasprechstunde gefilmt. In der Vorbereitung wurden sie mit dem Aufnahmegerät und der Umgebung vertraut gemacht. Wir filmten in einem wenig frequentierten gut beleuchteten Flur der Kinderpoliklinik, der durch bemalte Wände ein kinderfreundliches Ambiente bot. In Orientierung an Dabneys Forderungen liefen die Kinder barfüßig und waren je nach Wetterlage und Temperatursituation so entkleidet, dass die Beine sichtbar waren ²⁶. Dieser Korridor hatte zudem den Vorteil, dass er mit zwei verschiedenen PVC-Belägen versehen ist. Dies nutzten wir für die Patienten als Orientierungslinie, damit sie nicht in Schlangenlinien, sondern an einer geraden Linie entlang gehen konnten und somit immer den gleichen Abstand vom Aufnahmegerät hatten. Die Kamera wurde auf ein fahrbares Stativ in Höhe des Sprunggelenkes/Unterschenkels montiert und parallel zur Gangrichtung geführt.

Um bei einer späteren Auswertung Orientierungspunkte zur Winkelmessung zu erhalten, wurden auch in unserer Studie die Patienten mit Markern versehen. Es handelt sich hierbei nicht um kompliziert entwickelte Marker mit speziellem Haftungssystem ³² oder Reflexionseigenschaft ¹⁸, sondern um kleine kostengünstige Klebepunkte aus dem Schreibwarengeschäft, die medial am Großzehengrundgelenk und Malleolus medialis von ein und derselben Person angebracht wurden. Damit die Klebepunkte als Kontrast bei der späteren Auswertung auffallen, haben wir nach initial roten und grünen verwendeten Punkten vor allem schwarze Punkte eingesetzt.

Die Patienten legten für jeweils eine Richtung eine Strecke von 10 Metern zurück. Sie liefen in drei Varianten – in normaler alltäglicher Form, dann auf Zehenspitzen und anschließend auf der Ferse. Jede Laufart wurde zweimal aufgezeichnet, um für eventuelle abweichende Varianten oder Stolpern im Lauf genügend Auswertungsmaterial an Gangzyklen zur Verfügung zu haben.

Aufgenommen wurden die verschiedenen Laufarten in Sagittalebene von einer handelsüblichen digitalen, akkubetriebenen Videokamera der Firma Panasonic (Typ NV-DX1E) mit einer Aufnahmezeit von 25 Bildern/Sekunde im PAL-System. Sie wurde an einem mobilen Stativ 20 cm über dem Boden angebracht, ihre Bildlage nach den Wand-Grenzen ausgerichtet, ihr Focus auf den

distalen Unterschenkel der Patienten eingestellt und fixiert, damit das Bild scharf aufgezeichnet werden kann und nicht vom sonst automatisch aktivierten Focusfinder intermittierend „verschwimmt“. Sie wurde über Verbindungskabel mit einem kleinen Audio-Video-Monitor einer Videokamera zusammenschaltet, die am oberen Ende des Stativs befestigt wurde. Dadurch war es dem Filmer möglich, auf relativ komfortable Art und Weise den Filmvorgang beim Mitlaufen mitverfolgen und sein Gangtempo dem des Patienten anpassen zu können. Somit konnte der analysierende Fuß während der gesamten Aufnahme mit konstanter Distanz und möglichst kleinen Verzerrungswinkeln gefilmt werden. Die Aufnahmedauer pro Patient betrug circa 10 Minuten.

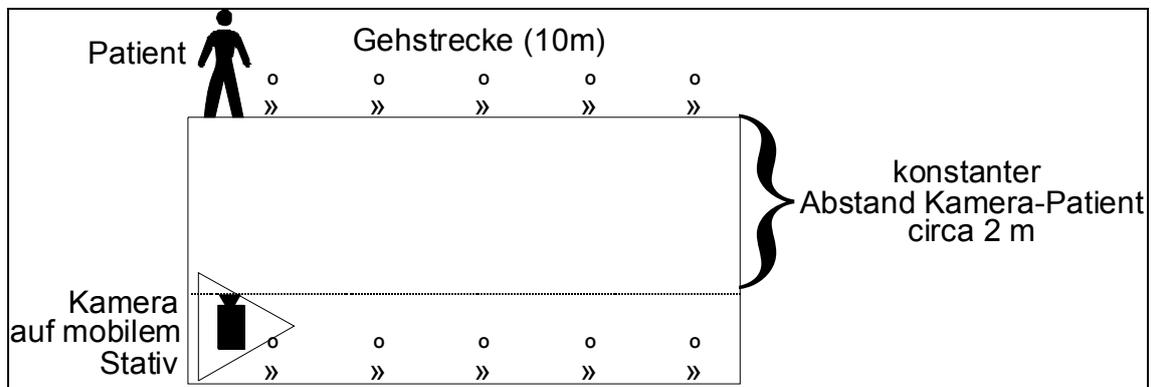


Abb. 2.2-1: schematisches Bild des Filmaufbaus



Abb. 2.2-2 Gangaufnahmen

2.3 Auswertung der Aufnahmen

Für die Auswertung der Aufnahmedaten verwendeten wir die digitale Videokamera, die zugleich mit einem eingebauten abspielbaren Videorekorder versehen war. Eine Sicherheitskopie der aufgenommenen Daten wurde durch einen weiteren analogen Videorekorder von Panasonic (Typ NV-HD101, VHS, PAL) erstellt, der ein für die Auswertung sehr gutes, präzise einstellbares Standbild aufwies. Angeschlossen wurden die Geräte über ein AV-Verbindungskabel mit einem TV-Bildschirm mit einer möglichst flachen Bildscheibe, um Messfehler durch die konvexe Fläche minimal zu halten. Es wurde bei den Auswertungen immer derselbe Bildschirm verwendet. Verschiedene Bildschirme können das Bild in unterschiedlicher Proportion wiedergeben, womit beim selben Standbild unterschiedliche Winkel gemessen würden.

Wie auch in anderen Studien wurden die Winkel mit einem gewöhnlichen Winkelmesser/Goniometer ausgewertet ^{25, 35}.

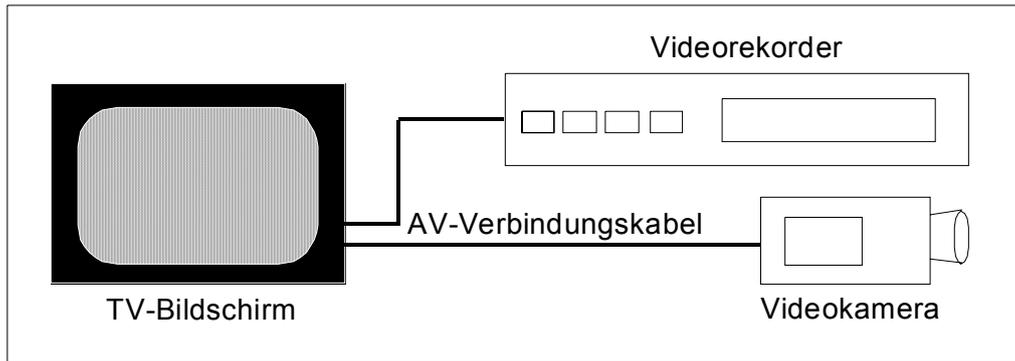


Abb. 2.3-1

Wir orientierten uns an der Neutral-Null-Methode, die auch in der klinischen Untersuchung eingesetzt wird und sich in der Befunddokumentation bewährt hat. Man geht von einem Menschen mit aufrechtem Stand und herabhängenden Armen aus. Die Stellung der Gelenke in dieser Position wird als Nullgrad-Ausgangsstellung bezeichnet. Für das Sprunggelenk bedeutet dies, dass es sich in dieser Position nicht in 90-Grad-, sondern in 0-Grad-Ausgangsstellung befindet. Jede Bewegung aus den Ausgangsstellungen wird in Winkelgraden angegeben³⁶. Die Bewegung, die sich vom Körper weg richtet, wird gebräuchlich zuerst angegeben. Beim OSG ist dies die Fußsenkung beziehungsweise Plantarflexion (PF). Die Bewegung, die zum Körper zugewandt ist, wird hier als Fußhebung oder Dorsalextension (DE) bezeichnet und wird nach der 0-Grad-Ausgangsstellung angegeben. Ein gesundes kindliches, nicht bewegungseingeschränktes OSG hat im Liegen eine maximale passive PF von circa 60 Grad und eine maximale DE von circa 20 Grad. In der Neutral-Nullmethode wird diese Situation als „PF/DE 60/0/20“ bezeichnet. Bewegungseinschränkungen können mit dieser Methode schnell erfasst beziehungsweise dokumentiert werden. Ist zum Beispiel der Patient nicht in der Lage, eine Dorsalextension, aber eine Plantarflexion von 40 Grad des OSG zu bewirken, so lautet die Angabe „PF/DE 40/0/0“. Kann ein Gelenk seine 0-Grad-Ausgangsstellung aufgrund einer Kontraktur nicht erreichen, so kann auch dies in der Neutralnullmethode dargestellt werden. Kann zum Beispiel der Patient eine PF von 40 Grad zustande bringen, aber aufgrund seines Spitzfußes das OSG nur in 20 Grad PF zurückführen anstatt in die normale 0-Grad-Ausgangsstellung und somit auch keine DE durchführen, so wird dies mit „PF/DE 40/20/0“ angegeben³⁶.

Nach diesen allgemein anerkannten Bezeichnungen werteten wir auch unsere Aufnahmen aus.

Die Winkel wurden folgendermaßen bestimmt: Den Drehpunkt stellte der Marker über dem Malleolus medialis dar. Dieser kleine dunkle Marker auf dem Bildschirm passte genau in das Nietenloch des Winkelmessers, welches die beiden Messschenkel miteinander verband. Die eine Achse entstand durch die Verbindung beider Marker (Malleolus-medialis-Marker und Marker medial in Höhe des Großzehengrundgelenks). Die andere Achse verlief parallel der Achse des distalen Unterschenkels. Zunächst wurde der OSG-Winkel in Nullgrad-Ausgangsstellung mehrmals durch einen handelsüblichen Winkelmesser ermittelt. Dieser betrug bei den meisten Patienten 25 bis 30 Grad. Um der üblichen Neutral-Null-Methode gerecht zu werden, nämlich dass Werte in der Neutral-Null-Position 0 Grad betragen, wurde bei jedem einzelnen Patienten dieser entsprechende Wert von allen folgenden Winkelwerten subtrahiert und diese Methode auch bei der Bestimmung aller anderen Winkelwerte miteinbezogen.

Neben der Forderung nach einem möglichst flachen Bildschirm wurde darauf geachtet, dass das Auge des Untersuchers im rechten Winkel die einzelnen Punkte und Achsen betrachtete.

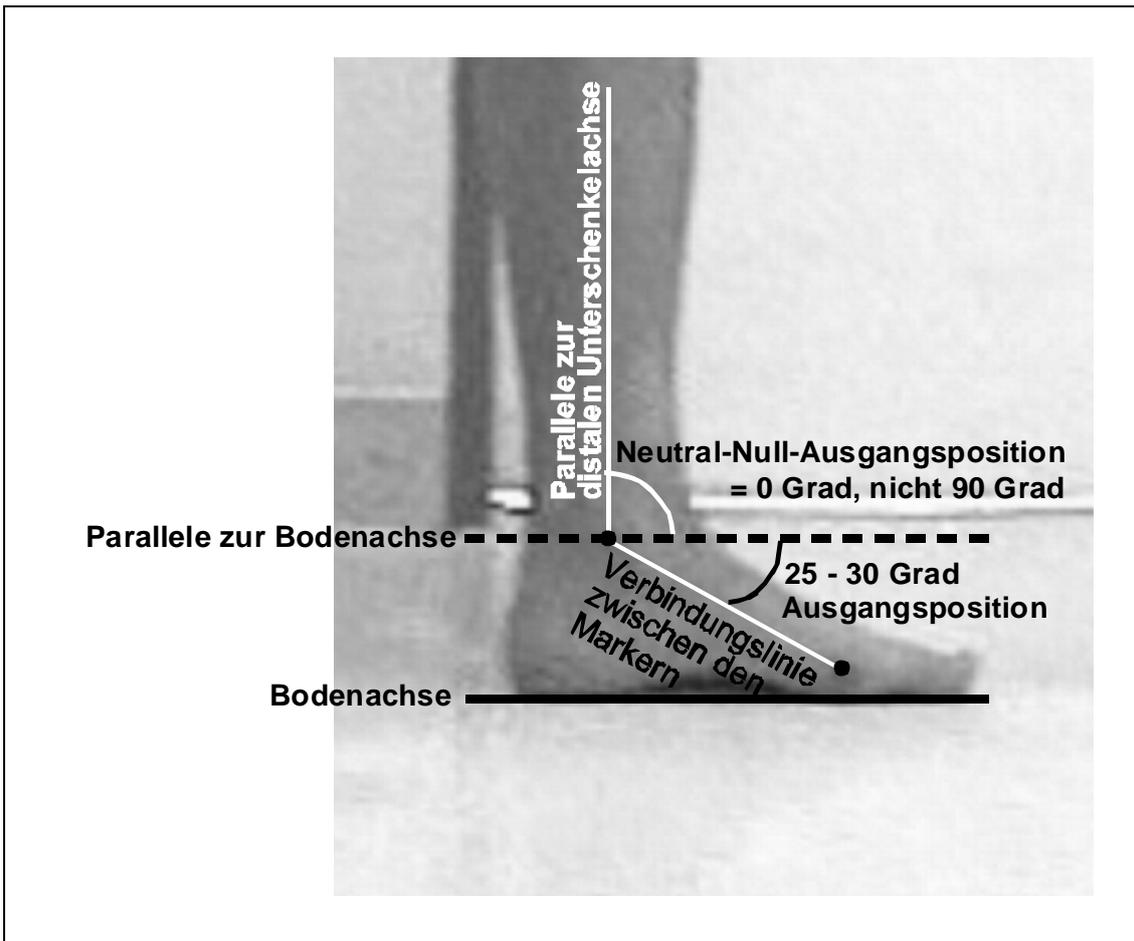


Abb. 2.3-2: Fuß mit seinen Markern, der gedachten Unterschenkelachse und individueller Neutral-Null-Position

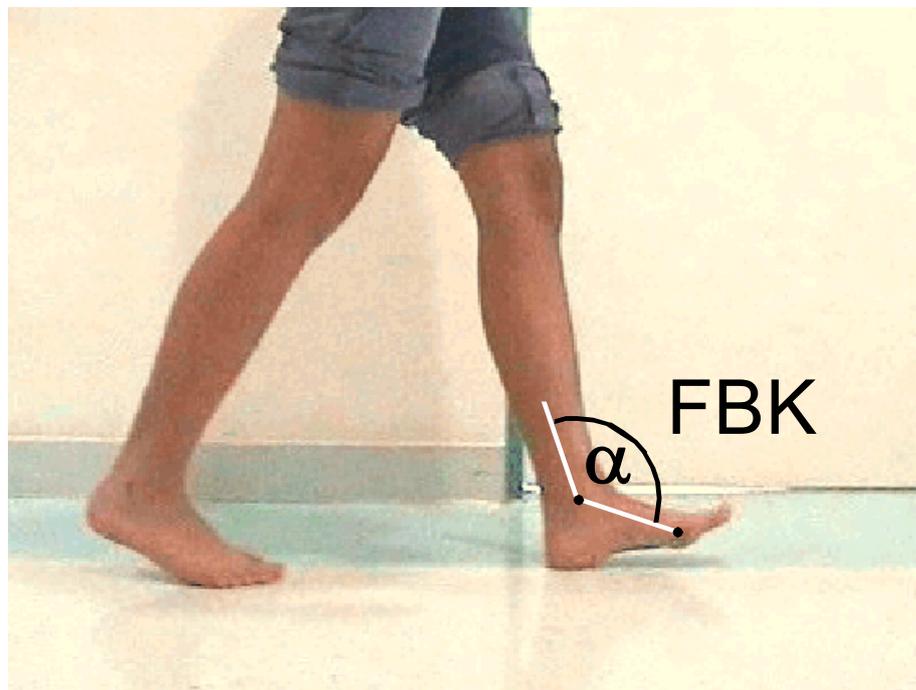
Pro Fuß haben wir fünf ähnliche Gangzyklen von circa 14 gefilmten Gangzyklen in unsere Datenbank aufgenommen und den Mittelwert gebildet. In der Regel wurde der erste Gangzyklus nicht in unsere Datenbank aufgenommen, da er oft durch den Start artefaktreich war. Deutlich vom Mittelwert abweichende Messwerte der Winkelgrade der Gangbildanalyse wurden in der Regel zu Beginn und am Ende eines Messzyklus registriert und daher von der Analyse ausgeschlossen.

Innerhalb eines Gangzyklus wurden im Standbild die OSG-Winkel im Vergleich zur individuellen Nulllinie in verschiedenen Momenten gemessen:

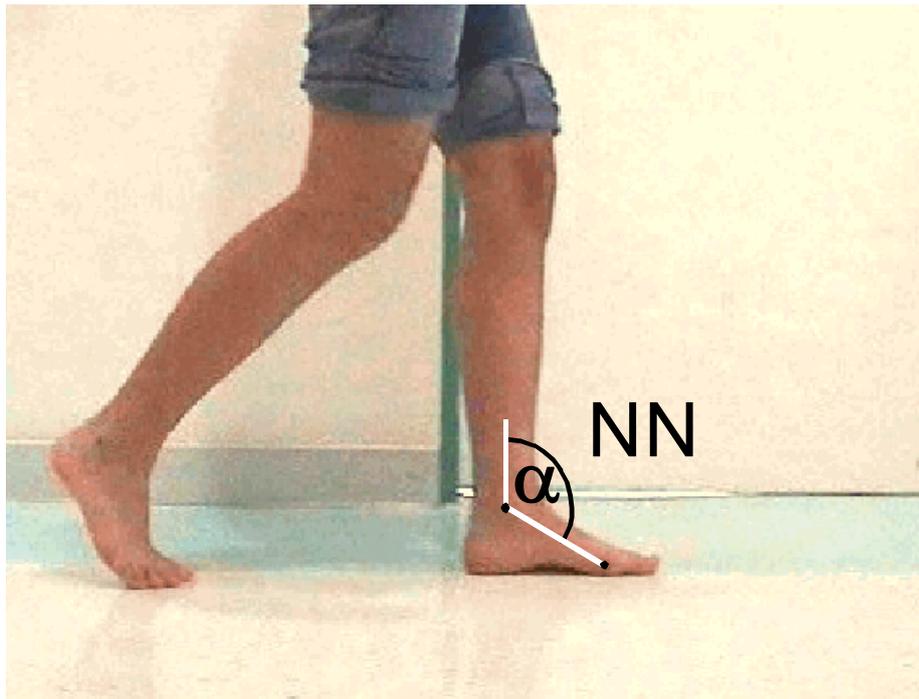
A. Beim normalen Gehen (siehe auch Abb. 2.3-3)

- 1) OSG-Winkel bei initialem Fersen-Boden-Kontakt (Fuß-Boden-Kontakt, FBK)
- 2) OSG in Null-Grad-Ausgangsstellung (Neutral-Null-Position, NN)
- 3) OSG-Winkel in aktiver maximaler Dorsalextension (DE)
- 4) OSG-Winkel kurz vor Ende des Zehenspitzen-Boden-Kontakts (Plantarflexion, PF)
- 5) OSG-Winkel kurz vor dem Fersen-Boden-Kontakt (vFBK)

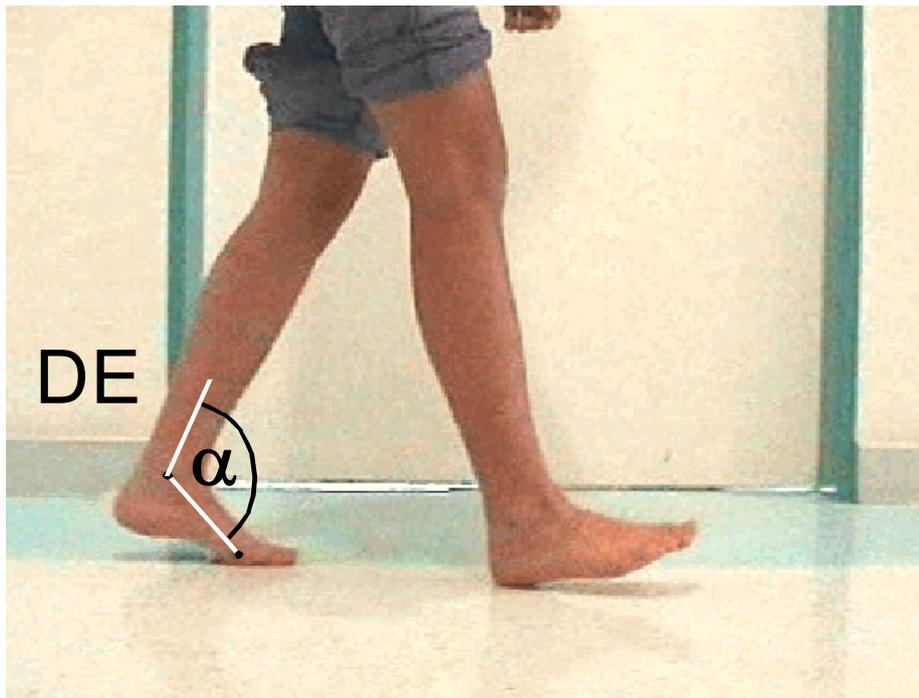
A.1



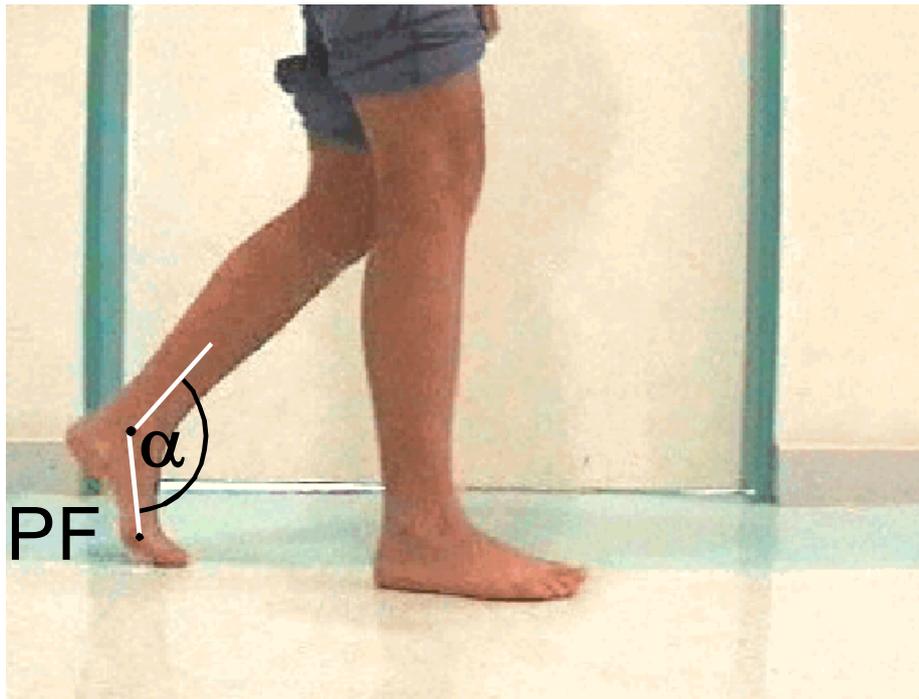
A.2



A.3



A.4



A.5

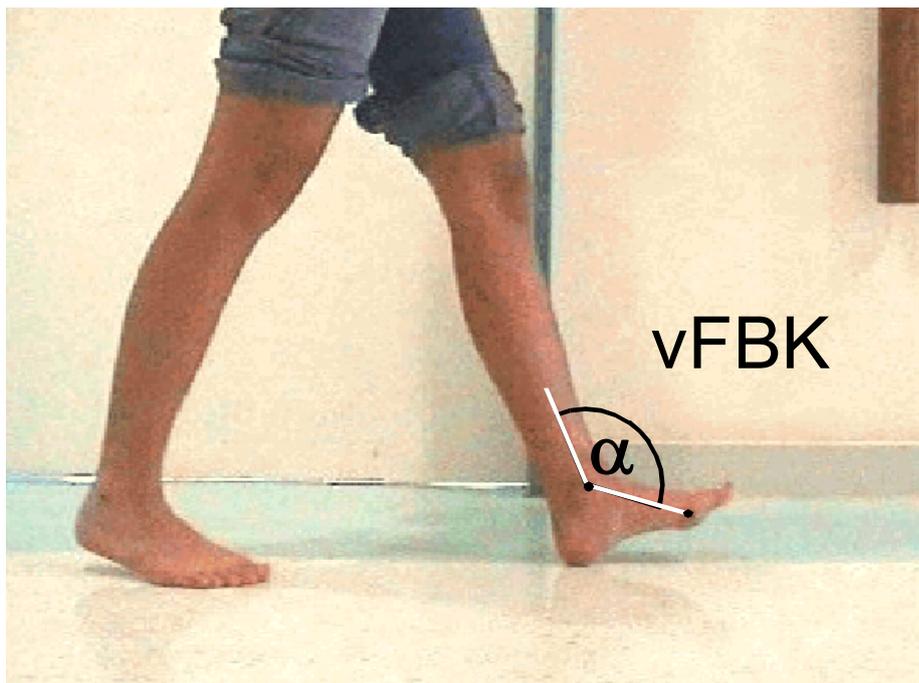
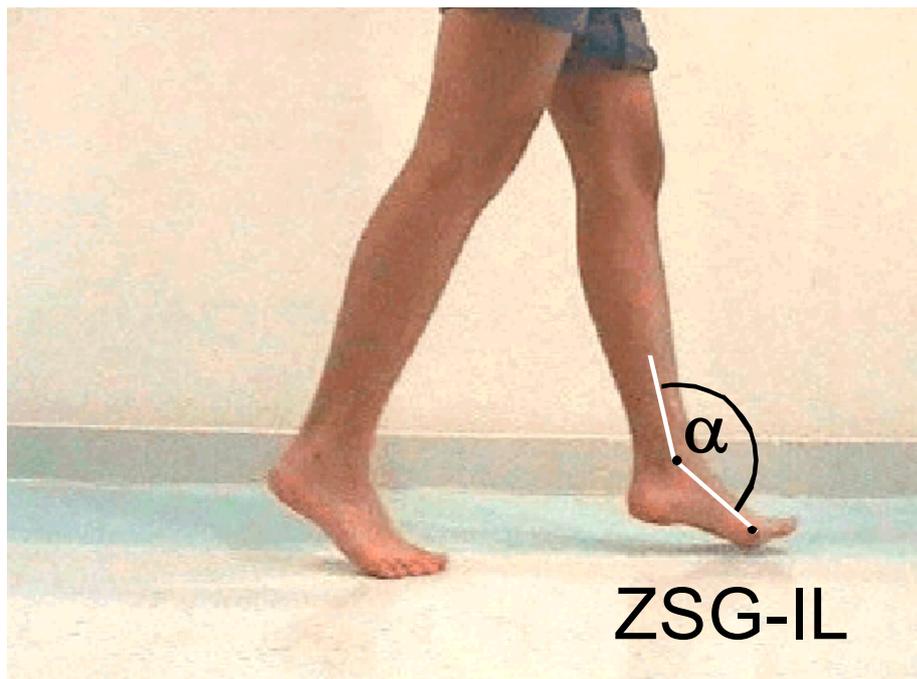


Abb. 2.3-3: Die einzelnen gemessenen Komponenten des Normalgangs

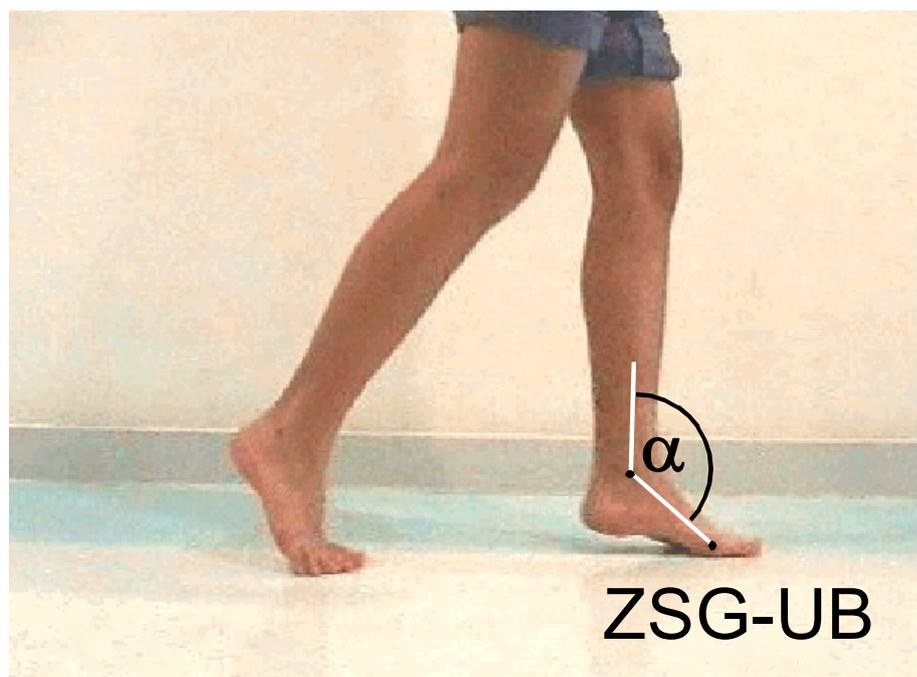
B. Beim Gang auf Zehenspitzen (siehe auch Abb. 2.3-4)

- 1) OSG-Winkel kurz vor dem Zehenspitzen-Boden-Kontakt ohne Körperlast (Zehenspitzenengang in der Luft, ZSG-IL)
- 2) OSG-Winkel bei initialem Zehenspitzen-Boden-Kontakt mit Körperlast (Zehenspitzenengang unter Belastung, ZSG-UB)
- 3) OSG-Winkel kurz vor Ende des Zehenspitzen-Boden-Kontakts (Zehenspitzenengang bei Abstützung, ZSG-BA)

B.1



B.2



B.3

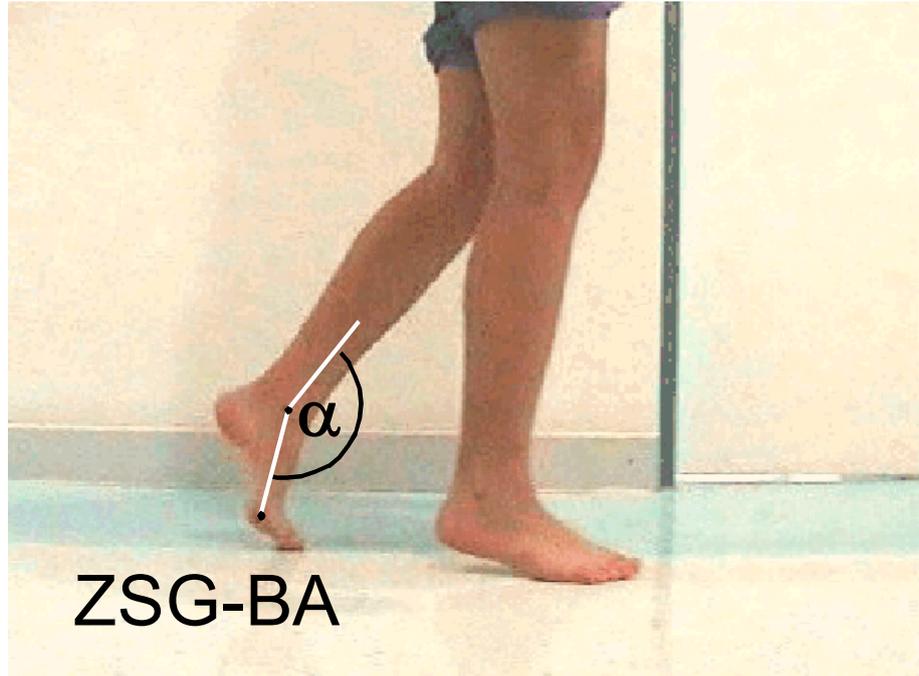
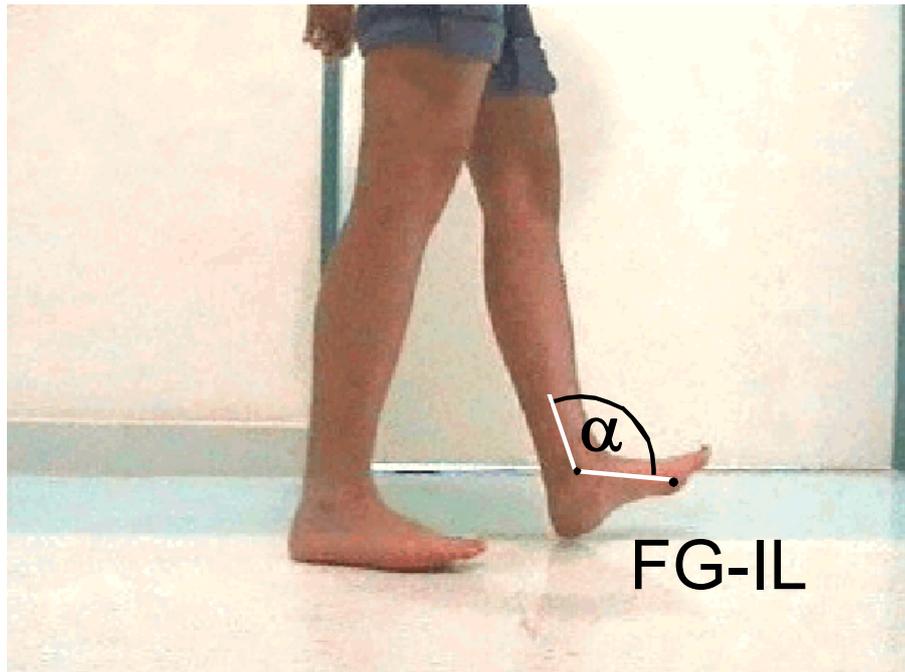


Abb. 2.3-4: Die einzelnen gemessenen Komponenten des Zehenspitzengangs

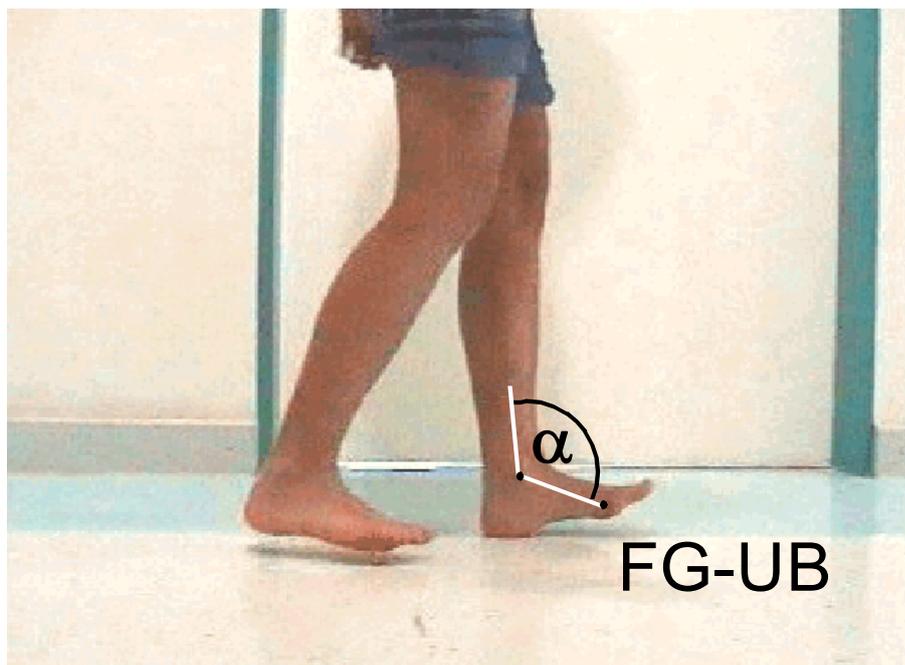
C. Beim Gang auf der Ferse (siehe auch Abb. 2.3-5)

- 1) OSG-Winkel kurz vor dem Fersen-Boden-Kontakt (Fersengang in der Luft, FG-IL)
- 2) OSG-Winkel kurz nach dem Fersen-Boden-Kontakt mit Körperlast (Fersengang unter Belastung, FG-UB)
- 3) OSG-Winkel kurz vor Ende des Fersen-Boden-Kontakts (Fersengang bei Abstützung, FG-BA)

C.1



C.2



C.3

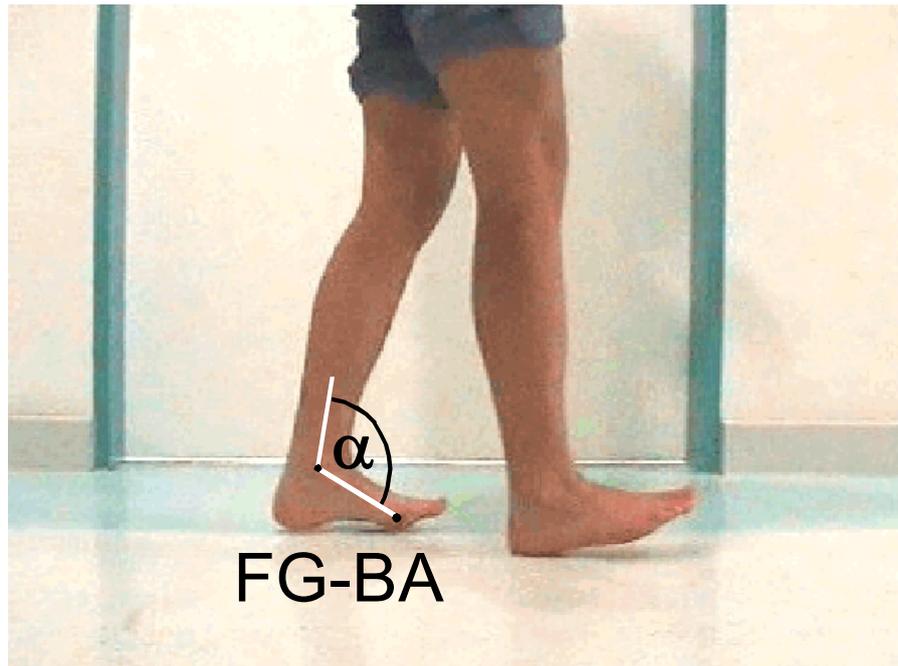


Abb. 2.3-5: Die einzelnen gemessenen Komponenten des Fersengangs

Die Auswertung der drei Gangvariationen pro Patient fand durch ein und dieselbe Person statt. Um eine subjektive Beeinflussung zu minimieren, war beim Winkelausmessen nicht bekannt, ob der Patient dem klinischen Schweregrad Grading 0, 1-4 oder 5-10 angehört. Die Schweregradbestimmung wurde von Prof. Girschick separat durchgeführt. Zudem wurden in Stichproben einige Patienten zweimal innerhalb weniger Tage aufgenommen und ausgewertet, um festzustellen, ob die Winkel zu zwei verschiedenen Zeitpunkten stark differieren. Dies war nicht der Fall.

Nach der Messung und Akteneinsicht wurden die ausgewerteten Patienten chronologisch in eine Excel[®]-Tabelle mit ihren Merkmalen (Name, Alter, Geschlecht, Diagnose, betroffene Gelenke, Grading, Winkel der klinischen Untersuchung mit Datumsangabe, Winkel der Ganganalyse mit Datumsangabe) eingetragen. Sodann wurden diese Daten dem Grading entsprechend in weitere Excel[®]-Dateien unterteilt. Die Winkelwerte der einzelnen Momente eines Gangzyklus wurden summiert und durch die Anzahl der der Grading-Gruppe angehörigen Patienten dividiert. Mit diesen Mittelwerten wurden Graphiken erstellt.

Da die Fallzahl relativ gering war, wurde der nicht-parametrische **Kruskal-Wallis-Test** für den Vergleich zwischen den drei Schweregrad-Gruppen G0,

G1-4 und G5-10 verwendet, um die Werte auf signifikante Unterschiede zu prüfen. Anschließend wurde der **Mann-Whitney-U-Test** inklusive der **Alpha-Korrektur nach Bonferroni** angewendet, um zwei voneinander unabhängige Stichproben zu vergleichen (zum Beispiel Grading-(0)- und Grading-(1-4)-Gruppe im Normalgang). Bei den anderen Untersuchungen fand die statistische Untersuchung ausschließlich mit dem **Mann-Whitney-U-Test** statt.

3. Ergebnisse

3.1 Vergleich der Gangarten zwischen den Schweregrad-Gruppen G0, G1-4 und G5-10

3.1.1 Vergleich im normalen Gang (siehe auch Abb. 3.1-1)

Allgemein konnte festgestellt werden, dass im normalen Gangzyklus zunächst alle Patienten – unabhängig vom Befallsausmaß des oberen Sprunggelenks (OSG) – mit der Ferse den Boden berühren. Dabei befindet sich das OSG nicht in leichter Dorsalextension, sondern in leichter Plantarflexion.

Zu Beginn des Gangzyklus betrug der durchschnittliche OSG-Winkel beim Fersen-Boden-Kontakt (FBK) für Unbetroffene 5,1 Grad, für den Schweregrad der Grading-(1-4)-Gruppe 3,9 Grad und für die Grading-(5-10)-Gruppe 2,9 Grad. Nach Durchlaufen der Neutralnullausgangsstellung (NN) wird das proximale Ende des Unterschenkels in Gehrichtung bewegt mit dem Resultat einer zunehmenden Dorsalextension (DE) im OSG, wobei die Ferse noch nicht vom Boden abhebt. Die Winkel betragen bei der Grading-(0)-Gruppe 8,4 Grad, der Grading-(1-4)-Gruppe 10,7 Grad und bei der Grading-(5-10)-Gruppe 12,0 Grad. Anschließend erfolgt eine starke Plantarflexion (PF) mit Abheben der Ferse vom Boden. Ihr Wert ist am größten, wenn die Zehenspitzen den Bodenkontakt gerade verlieren. Die Grading-(0)-Gruppe führt diese Bewegung mit durchschnittlich 19,9 Grad, die Grading-(1-4)-Gruppe mit 18,1 Grad und die Grading-(5-10)-Gruppe mit 8,6 Grad aus.

Die Plantarflexion nimmt während der Bewegung durch die Luft ab und beträgt kurz vor dem Fersen-Bodenkontakt im Mittel 4,7 Grad bei der Grading-(0)-Gruppe, 3,3 Grad bei der Grading-(1-4)-Gruppe und 2,1 Grad bei der Grading-(5-10)-Gruppe.

Der Kruskal-Wallis-Test zeigte, dass die Werte zwischen den drei unterschiedlichen Gruppen im Fuß-Boden-Kontakt (FBK, $p \leq 0,022$), in der Dorsalextension (DE, $p \leq 0,001$), in der Plantarflexion (PF, $p \leq 0,001$) sowie vor dem Fuß-Boden-Kontakt (vFBK, $p \leq 0,012$) voneinander statistisch signifikant verschieden waren.

Beim Vergleich der Mittelwerte der gemessenen Winkel beim Fuß-Boden-Kontakt, der Dorsalextension, der Plantarflexion und vor dem Fuß-Boden-Kontakt zeigte die Grading-(0)-Gruppe durchgehend die höchsten Werte, wohingegen die Werte der Grading-(5-10)-Gruppe die niedrigsten darstellten. Die Werte der Grading-(1-4)-Gruppe fanden sich durchgehend zwischen den beiden anderen Gruppen, lagen aber in der Plantarflexion den Ergebnissen der Grading-(0)-Gruppe wesentlich näher.

3.1.1.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4 (siehe auch Abb. 3.1-2)

Bei Betrachtung der Mittelwerte in den verschiedenen Gangphasen (FBK, NN, DE, PF und vFBK) zwischen den Schweregrad-Gruppen Grading 0 mit Grading 1-4 zeigten sich keine großen Unterschiede. Der größte Unterschied bestand hierbei in der Dorsalextension (DE) mit 8,4 Grad in der Grading-(0)-Gruppe und 10,7 Grad in der Grading-(1-4)-Gruppe. Nach dem Mann-Whitney-Test konnte hier im Gegensatz zu den anderen Gangphasen ein signifikanter Unterschied mit $p \leq 0,014$ nachgewiesen werden.

3.1.1.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10 (siehe auch Abb. 3.1-3)

Die Mittelwerte der Grading-(0)-Gruppe differierten wesentlich deutlicher mit denen der Grading-(5-10)-Gruppe als im obigen Vergleich. Eine starke Abweichung zeigte sich in den Werten der Plantarflexion mit 19,9 Grad in der Grading-(0)- und 8,6 in der Grading-(5-10)-Gruppe. In der statistischen Untersuchung konnte für alle Werte – außer natürlich bei der immer gleich bleibenden Neutralnullposition – ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die Asymptotische Signifikanz p betrug beim Fuß-Boden-Kontakt $\leq 0,007$, bei der Dorsalextension $\leq 0,001$, bei der Plantarflexion $\leq 0,000001$ und vor dem Fuß-Boden-Kontakt $\leq 0,004$. Hier konnte ein eindeutiger Unterschied in der Ganganalyse zwischen OSG-Unbetroffenen und OSG-Schwerbetroffenen dargestellt werden.

3.1.1.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10

Hier konnte im normalen Gang ein signifikanter Unterschied von $p \leq 0,01$ in der Plantarflexion festgestellt werden. Die Mittelwerte betragen in der Grading-(1-4)-Gruppe 18,1 Grad und in der Grading-(5-10)-Gruppe 8,6 Grad. Alle anderen Werte zeigten keinen signifikanten Unterschied. Es ist somit nachgewiesen, dass ein leicht befallenes oberes Sprunggelenk im Normalgang von einem schwer befallenen mittels Ganganalyse unterschieden werden kann.

3.1.2 Vergleich der Gruppen im Zehenspitzenengang

Während des Zehenspitzenanges (ZSG) befindet sich der Fuß insbesondere in Plantarflexion. Kurz vor Beginn des Zehenspitzen-Boden-Kontakts wurde der Winkel des OSG in der Luft (ZSG-IL) gemessen. Patienten mit Grading 0 führten eine Plantarflexion von 27,8 Grad, Patienten mit Grading 1-4 von 25,1 Grad und Patienten mit Grading 5-10 von 23,8 Grad aus. Kurz nach dem Kontakt des Fußes mit dem Boden nahm die Plantarflexion aufgrund der Gewichtsaufnahme deutlich ab. Der Winkel betrug nun bei der Grading-(0)-Gruppe 13,7 Grad, bei der Grading-(1-4)-Gruppe 13,2 Grad und bei der Grading-(5-10)-Gruppe 9,9 Grad. Anschließend nimmt der Winkel bei Abstützung (ZSG-BA) – also kurz vor dem Abheben der Zehenspitzen von der Bodenoberfläche – wieder zu mit den Werten von 37,5 Grad bei Grading-(0)-Patienten, von 32,1 Grad bei Grading-(1-4)-Patienten und von 25,7 bei Grading-(5-10)-Patienten.

Im Kruskal-Wallis-Test zeigten sich bei den drei verschiedenen Gruppen lediglich signifikante Unterschiede im Zehenspitzenengang bei Abstützung (ZSG-BA) mit der asymptotischen Signifikanz $p \leq 0,000001$.

3.1.2.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4

Trotz der unterschiedlichen Mittelwerte konnte statistisch kein signifikanter Unterschied bestätigt werden. Kinder mit leicht befallenem oberem Sprunggelenk sind somit im Zehenspitzenengang von ihren gesunden Artgenossen nicht zu unterscheiden.

3.1.2.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10

Ein signifikanter Unterschied konnte im Zehenspitzenengang bei Abstützung (ZSG-BA) mit $p \leq 0,000001$ nachgewiesen werden.

Dies besagt, dass Kinder mit schwer befallenem oberem Sprunggelenk geringere Winkelwerte im Zehenspitzenengang in der Abstützungsphase aufweisen als Gesunde.

3.1.2.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10

Wie im Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4 gab es auch hier keinen signifikanten Unterschied zu verzeichnen. Kinder mit leichtbefallenem OSG können von Kindern mit starkem OSG-Befall in der Ganganalyse im Zehenspitzenengang nicht unterschieden werden.

3.1.3 Vergleich der Gruppen im Fersengang

Der Fersengang (FG) hat die gleichen erfassten Komponenten (FG-IL, FG-UB und FG-BA) wie der Zehenspitzenengang. Diesmal wurde der Fuß bewusst vom Probanden in Dorsalextension gehalten. In dieser Stellung betrug der OSG-Winkel in der Luft (FG-IL) im Mittel vor dem Fersen-Bodenkontakt 8,4 Grad bei der Gruppe mit Grading 0, 9,6 Grad bei der Gruppe mit Grading 1-4 und 3,2 Grad bei der Gruppe mit Grading 5-10. Unter Belastung des Körpers auf den Fuß (FG-UB) kam es wieder zu einem Rückgang der Dorsalextension bei Grading-(0)-Patienten mit 5,8 Grad und bei Grading-(1-4)-Patienten mit 5,4 Grad. Bei der Patientengruppe mit Grading 5-10 nahm die Dorsalextension sogar minimal mit 3,9 Grad zu. Kurz vor Ende des Fersen-Boden-Kontakts wurde in allen drei Gruppen die Dorsalextension deutlich verstärkt. Patienten von Grading 0 hoben durchschnittlich mit dem Fuß mit 13,3 Grad vom Boden ab, Patienten von Grading 1-4 mit 12,8 Grad und Patienten von Grading 5-10 mit ebenfalls 12,8 Grad.

3.1.3.1 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 1-4

Wie bereits in der Zehenspitzenstellung war auch im Fersengang kein statistisch signifikanter Unterschied in den Winkelwerten zwischen OSG-Unbetroffenen und OSG-Leichtbetroffenen vorhanden.

3.1.3.2 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 0 mit Grading 5-10

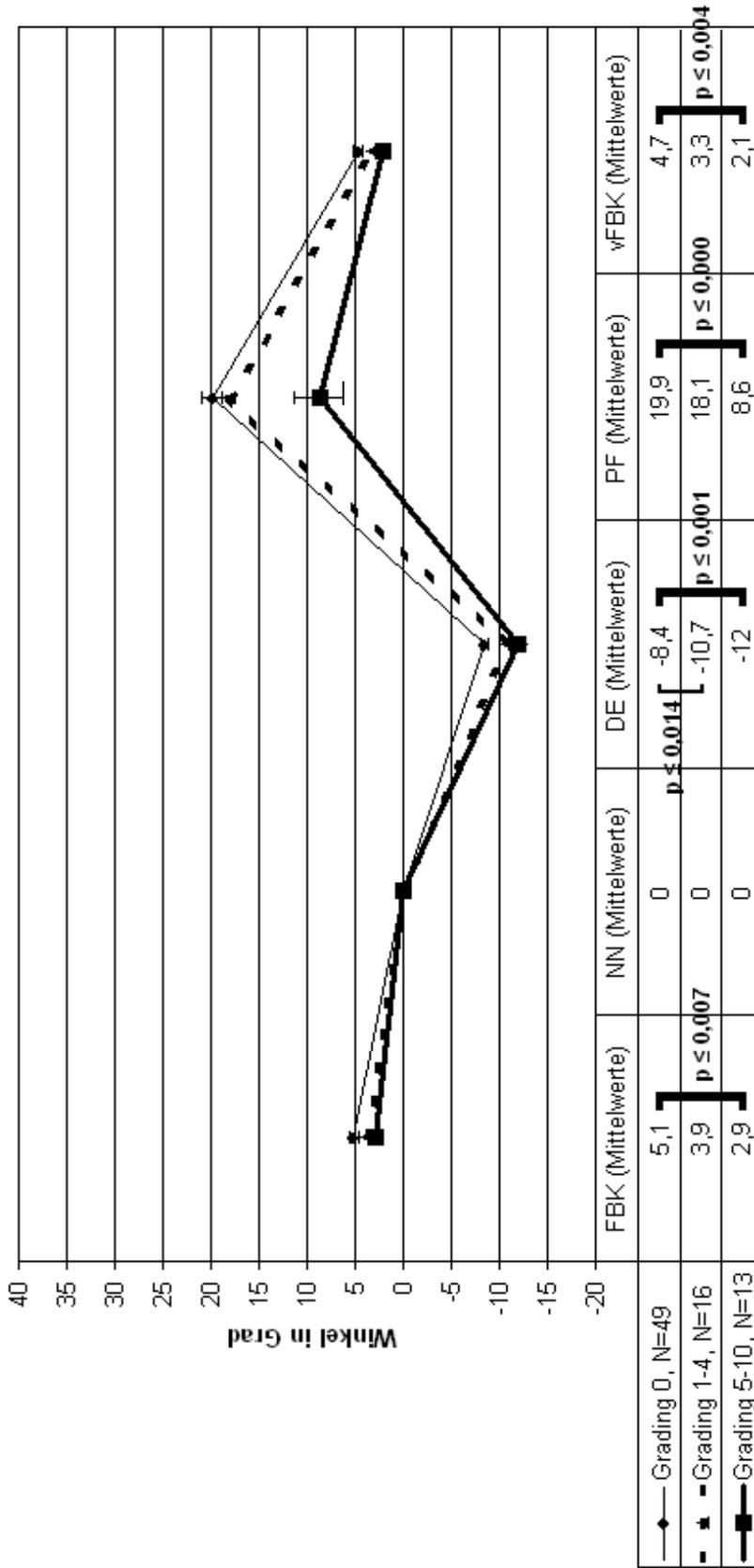
Im Gegensatz zum normalen Gang und Zehenspitzenengang konnte in diesem Fersengangvergleich zwischen Probanden ohne Sprunggelenksbefall und ihren Artgenossen mit starkem Sprunggelenksbefall kein signifikanter Unterschied in der statistischen Berechnung gefunden werden.

3.1.3.3 Vergleich der Schweregrad-Gruppe Grading 1-4 mit Grading 5-10

Wie bei 3.1.3.1 und 3.1.3.2 zeigt auch dieser Vergleich in diesen beiden Gruppen keinen statistisch nachweisbaren Unterschied.

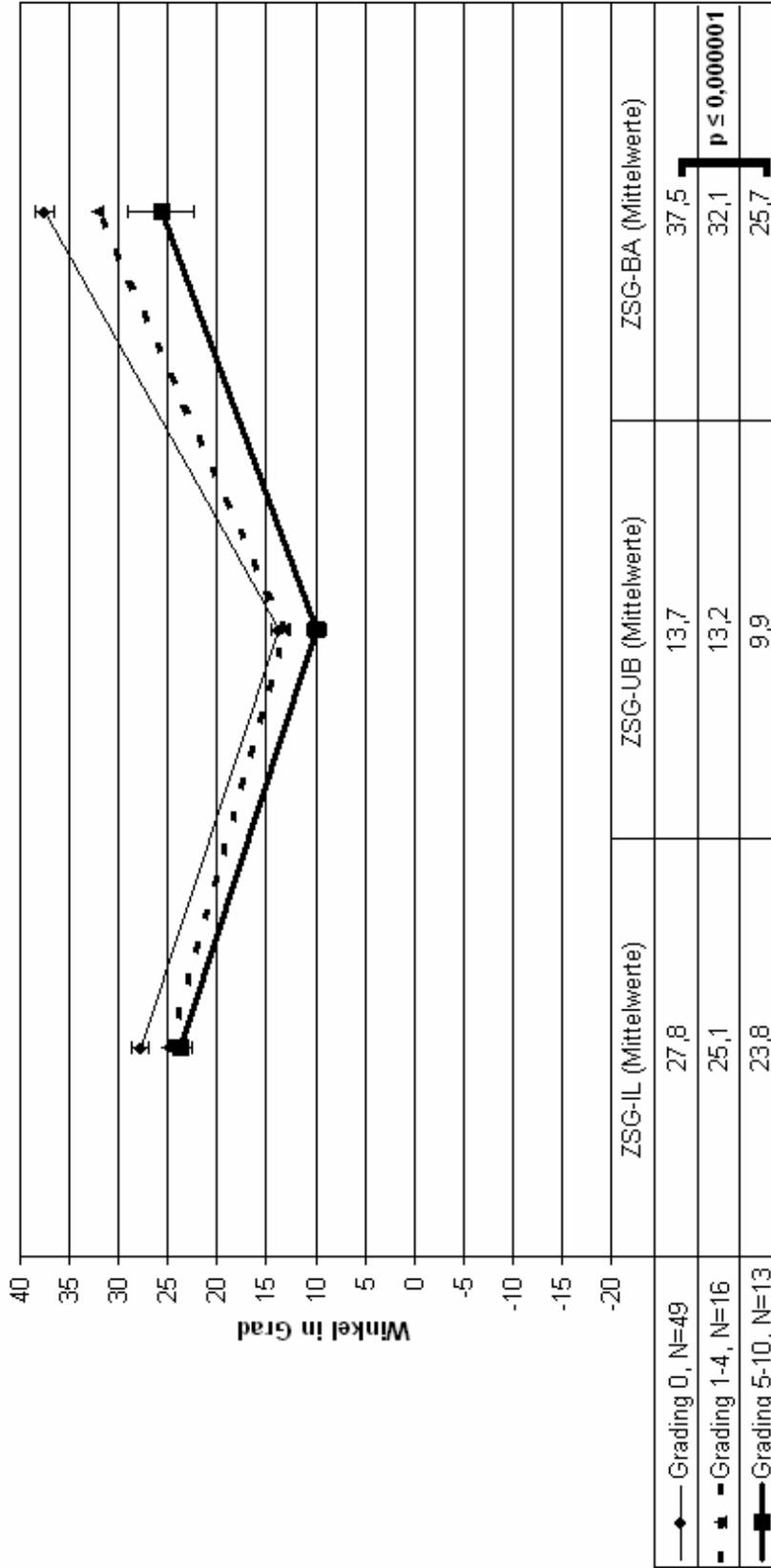
Der Fersengang in der Ganganalyse vermag in allen Komponenten OSG-Gesunde nicht von OSG-Leicht-Betroffenen und OSG-Schwer-Betroffenen zu unterscheiden.

Abb. 3.1-1: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang zwischen den Gruppen mit Grading 0, 1-4 und 5-10



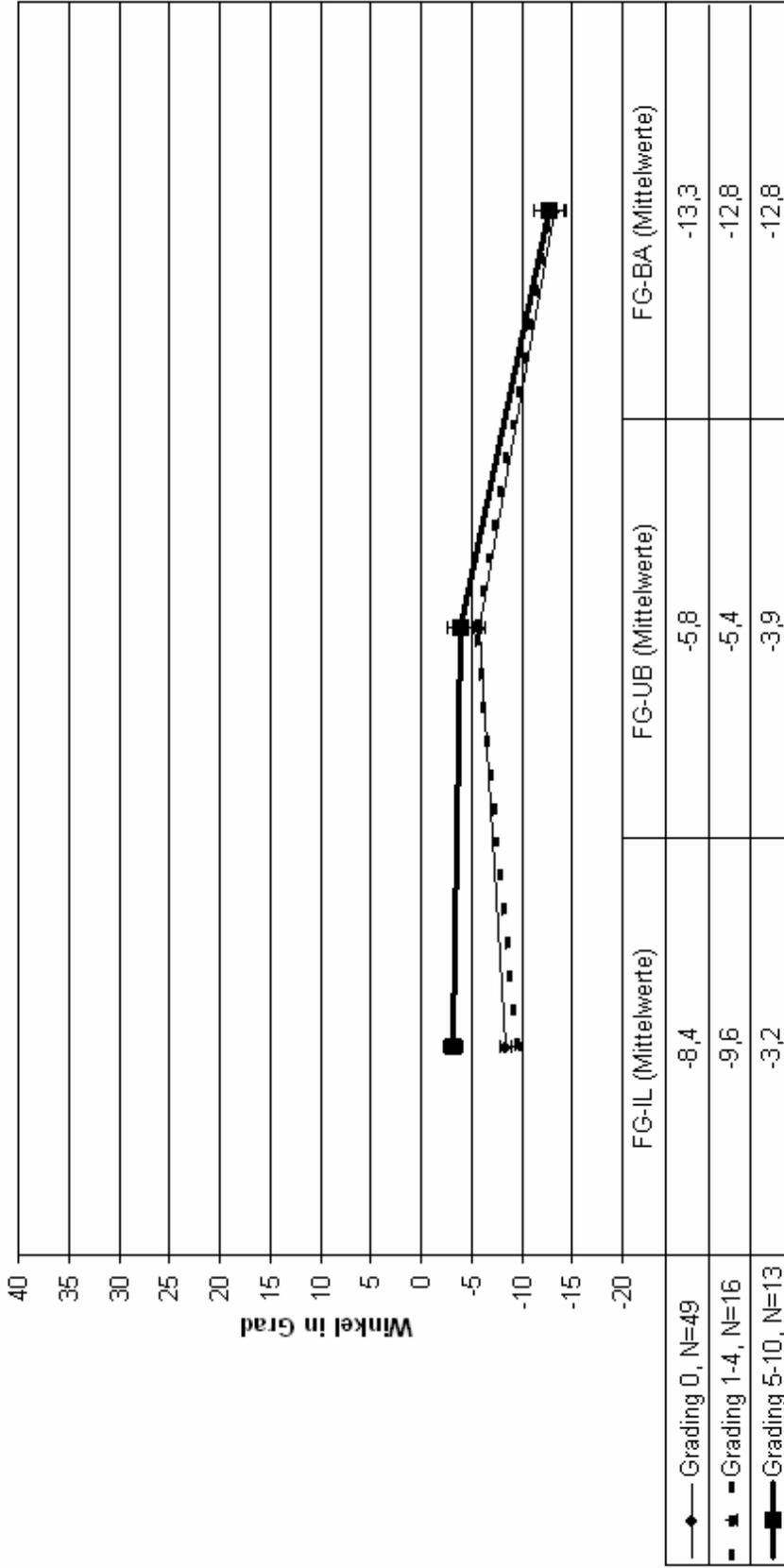
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalexension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.1-2: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenang im Vergleich zwischen den Gruppen mit Grading 0, 1-4 und 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung)Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.1-3 Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang zwischen den Gruppen mit Grading 0, 1-4 und 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung)
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

3.2 Vergleich der Gangarten zwischen Mädchen und Jungen der jeweiligen Schweregrad-Gruppen Grading 0, Grading 1-4 und Grading 5-10

Um zu klären, ob ein Gang geschlechtsspezifisch ist, wurden die anhand der durch Ganganalyse gewonnenen Werte der Mädchen denen der Jungen in der jeweiligen Schweregrad-Gruppe gegenübergestellt. In den folgenden Vergleichen wurde in der statistischen Berechnung der Mann-Whitney-U-Test angewendet.

3.2.1 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(0)-Gruppe

Die Grading-(0)-Gruppe wies 30 Füße von Mädchen und 19 Füße von Jungen auf.

3.2.1.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch Abb. 3.2-1)

Innerhalb eines Gangzyklus wurden folgende Mittelwerte erfasst: Die Winkel beim Fersen-Boden-Kontakt (FBK) betragen bei den Mädchen im Durchschnitt 5,7 Grad, bei den Jungen 4,2 Grad. In der Dorsalextension (DE) wies die weibliche Gruppe 8,2 Grad, die männliche Gruppe 8,7 Grad auf. Die Werte differierten am meisten in der Plantarflexion mit 21,8 Grad bei den Mädchen und 16,8 Grad bei den Jungen. Kurz vor dem Fersen-Boden-Kontakt (vFBK) zeigte sich bei Mädchen ein OSG-Winkel von durchschnittlich 5,3 Grad, wobei bei Jungen 3,8 Grad festgestellt wurden.

Nach Durchführung des Mann-Whitney-U-Tests zeigte sich, dass zwischen den Geschlechtern ein signifikanter Unterschied in der Plantarflexion mit $p \leq 0,019$ und im OSG-Winkel kurz vor dem Fersen-Boden-Kontakt mit $p \leq 0,04$ bestand. Bei Kindern ohne Sprunggelenksaffektion konnten Mädchen eine stärkere Plantarflexion als Jungen durchführen und konnten in diesem Kriterium von ihnen unterschieden werden.

3.2.1.2 Vergleich des Zehenspitzengangs (siehe auch Abb. 3.2-2)

Im Zehenspitzengang wiesen Mädchen vor Beginn des Zehenspitzen-Boden-Kontakts einen Winkel des OSG von 28,7 Grad im Mittel auf. Bei den Jungen

wurden Werte von durchschnittlich 26,3 Grad gemessen. Nachdem der Kontakt des Fußes in weiterer Zehenspitzenstellung hergestellt wurde, betrug der Winkel bei den Mädchen 14 Grad, beim anderen Geschlecht 13,3 Grad. Vor dem Abheben der Zehenspitzen von der Bodenoberfläche (ZSG-BA) konnten die weiblichen Probanden im OSG 39,2 Grad, die männlichen Probanden 34,9 Grad erreichen. Nach statistischer Überprüfung konnte zwischen Mädchen und Jungen ein signifikanter Unterschied des OSG-Winkels im Zehenspitzenengang bei Abstützung festgestellt werden. Mädchen ohne Sprunggelenksbeteiligung unterschieden sich hiermit bei der aktiv maximal durchführbaren Plantarflexion von Jungen der Grading-(0)-Gruppe.

3.2.1.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch Abb. 3.2-3)

In den Komponenten des Fersenganges zeigten in der Luft die OSG-Winkel der Mädchen Werte von 8,1 Grad, die der Jungen von 8,9 Grad auf. Bei Belastung wurden bei Mädchen 5,4 Grad und bei Jungen 6,5 Grad gemessen. Kurz vor Ende des Fersen-Boden-Kontakts betrug die OSG-Winkel 12,8 Grad bei den weiblichen und 14,1 Grad bei den männlichen Probanden. In Anbetracht der sehr ähnlichen Winkel-Werte konnte zwischen Mädchen und Jungen statistisch kein signifikanter Unterschied im Fersengang nachgewiesen werden.

3.2.2 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(1-4)-Gruppe

Bezugnehmend auf geschlechtsspezifische Unterschiede im Gangverhalten bei OSG-Nichtbetroffenen, wurde analog ein Vergleich zwischen Mädchen und Jungen mit leichter OSG-Affektion angestellt. Die Grading-(1-4)-Gruppe beinhaltete neun weibliche und sieben männliche Füße.

3.2.2.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch Abb. 3.2-4)

Im Gangzyklus des Normalgangs wurden Unterschiede in der Plantarflexion festgestellt. Mädchen zeigten hier Werte von 20 Grad auf, wohingegen Jungen nur 15,5 Grad erreichten. Dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant. Im Normalgang zeigten sich schon bei leichter OSG-Affektion aufgrund der geringen Fallzahl keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.

3.2.2.2 Vergleich des Zehenspitzengangs (siehe auch Abb. 3.2-5)

Im Zehenspitzengang wurden bei Jungen durchgehend kleinere OSG-Durchschnittswinkel festgestellt als bei Mädchen. Der größte Unterschied wurde bei der Abstützung vom Boden (ZSG-BA) ermittelt mit einem OSG-Winkel von 34,8 Grad bei den Mädchen und 28,5 Grad bei den Jungen. In der statistischen Berechnung wurde der Nachweis eines signifikanten Unterschiedes mit $p \leq 0,072$ jedoch knapp verfehlt.

3.2.2.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch Abb. 3.2-6)

In der Grading-(1-4)-Gruppe wiesen Jungen wie Mädchen sehr ähnliche Winkelwerte im OSG auf. Ein etwas größerer Unterschied bestand bei der Abstützung der Ferse vom Boden. Hierbei wiesen Mädchen einen Wert von 12 Grad und Knaben von 13,8 Grad auf. Aber auch dieser Unterschied zeigte keine statistische Signifikanz ($p \leq 0,862$).

3.2.3 Vergleich des Gangbildes zwischen Mädchen und Jungen in der Grading-(5-10)-Gruppe

In der Grading-(5-10)-Gruppe waren neun Mädchen- und vier Jungen-Füße vorhanden.

3.2.3.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch Abb. 3.2-7)

In den Mittelwerten der OSG-Winkel konnten keine wesentlichen Unterschiede im Gangverhalten zwischen Mädchen und Jungen erkannt werden. Der statistische Test untermauerte dieses Ergebnis. Es zeigte sich hier in keiner Komponente des Normalganges ein signifikanter Unterschied bezüglich des Geschlechts.

3.2.3.2 Vergleich des Zehenspitzengangs (siehe auch Abb. 3.2-8)

Im Zehenspitzengang wiesen Jungen beim Fuß in der Luft sowie unter Belastung gering größere Winkelwerte auf als Mädchen, um bei der Abstützung schließlich deutlich kleinere Werte in der Plantarflexion zu erreichen. Die Annahme, dass in dieser letzten Komponente ein signifikanter Geschlechtsunterschied besteht, konnte statistisch mit $p \leq 0,335$ nicht bekräftigt werden, was aber an der geringen Fallzahl liegen könnte.

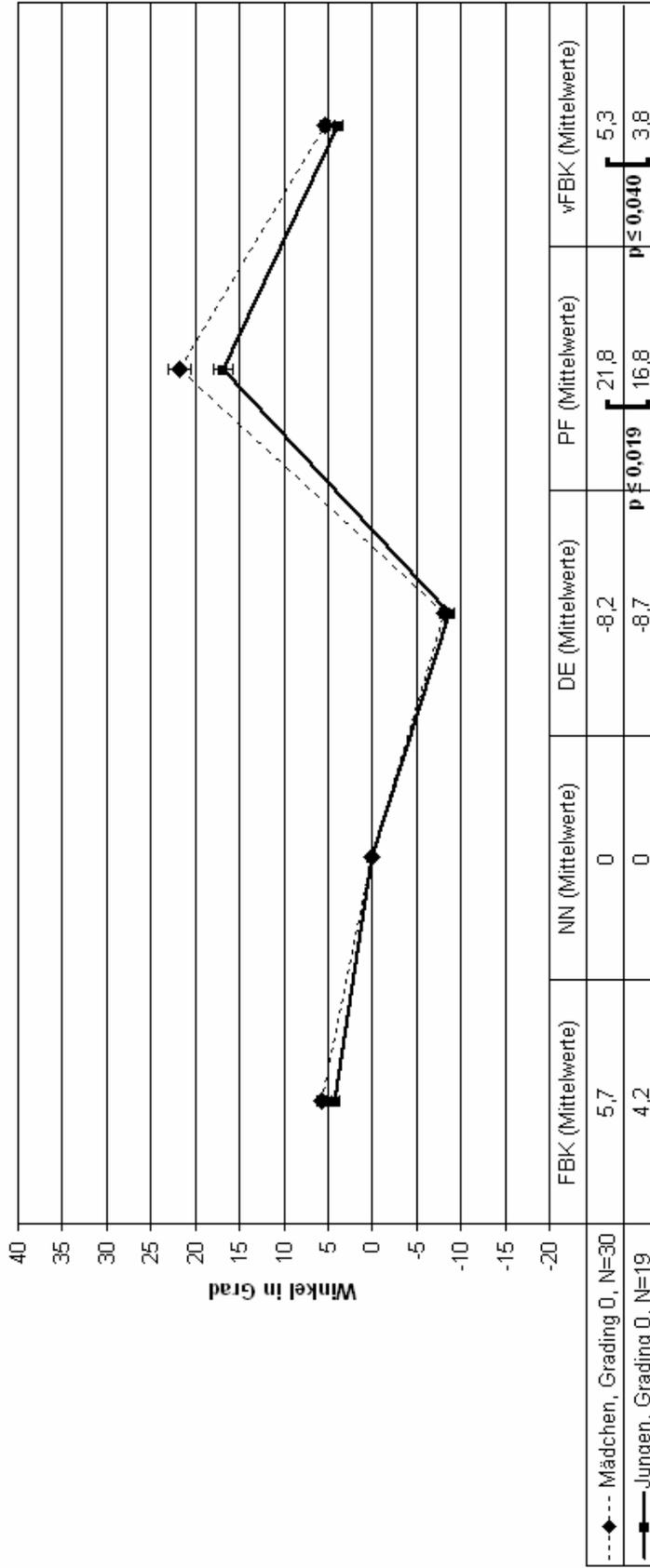
3.2.3.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch Abb. 3.2-9)

Ein ähnliches Bild zeigte sich im Fersengang bei Probanden mit rheumatisch schwer affektiertem oberem Sprunggelenk. Während die Jungen in der ersten und zweiten Komponente leicht geringere Werte aufwiesen, hatten Mädchen in der dritten Komponente kleinere OSG-Winkel zu verzeichnen. Wie auch im Normal- und Zehenspitzengang wurde eine Signifikanz der Unterschiede bezüglich des Geschlechts in der statistischen Überprüfung nicht gefunden.

Es kann somit ein geschlechtsspezifischer Unterschied bei Probanden ohne eine rheumatisch-bedingte Sprunggelenksaffektion in der Plantarflexion mittels einer einfachen Ganganalyse festgestellt werden. Sobald aber das Sprunggelenk auch nur leichtgradig betroffen ist, scheint dieser Unterschied durch die

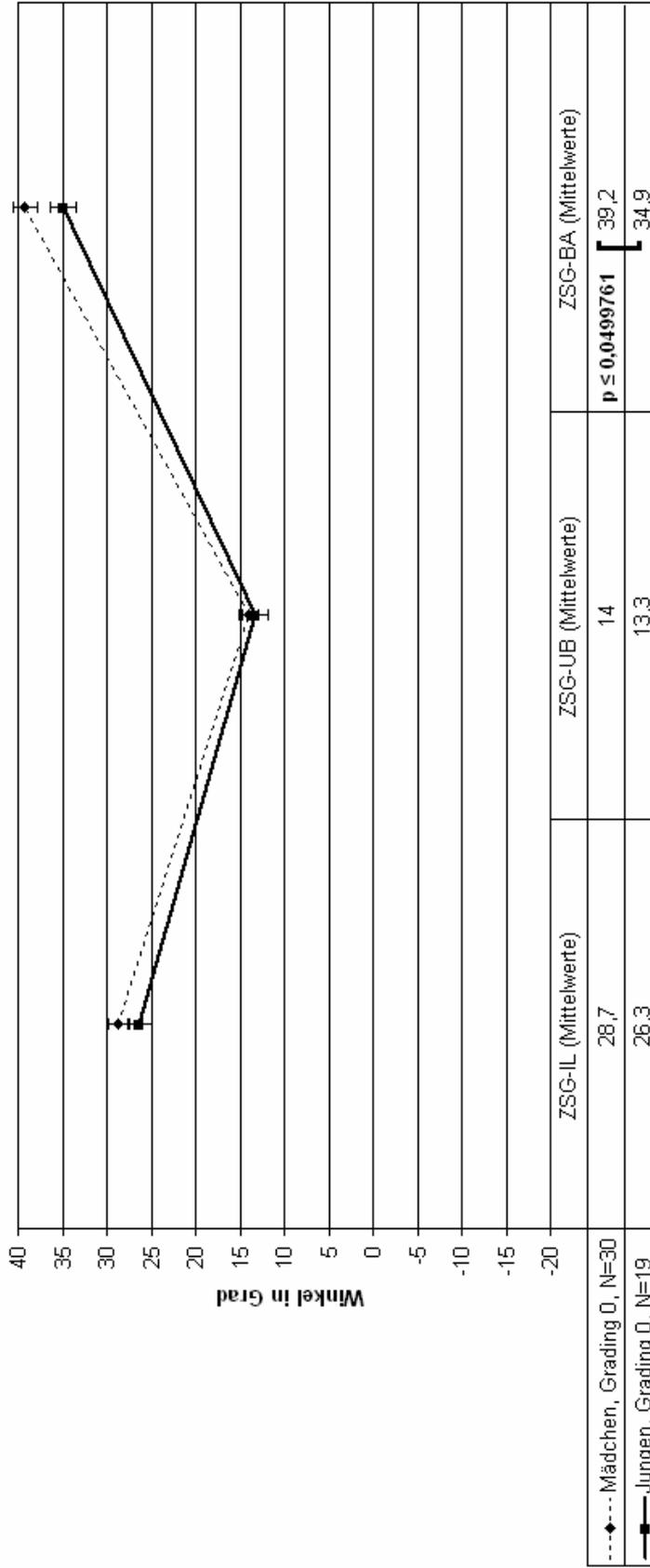
rheumatische Erkrankung maskiert zu werden und in der Ganganalyse mit nicht statistisch unterschiedlichen Werten erkannt zu werden.

Abb. 3.2-1: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 0



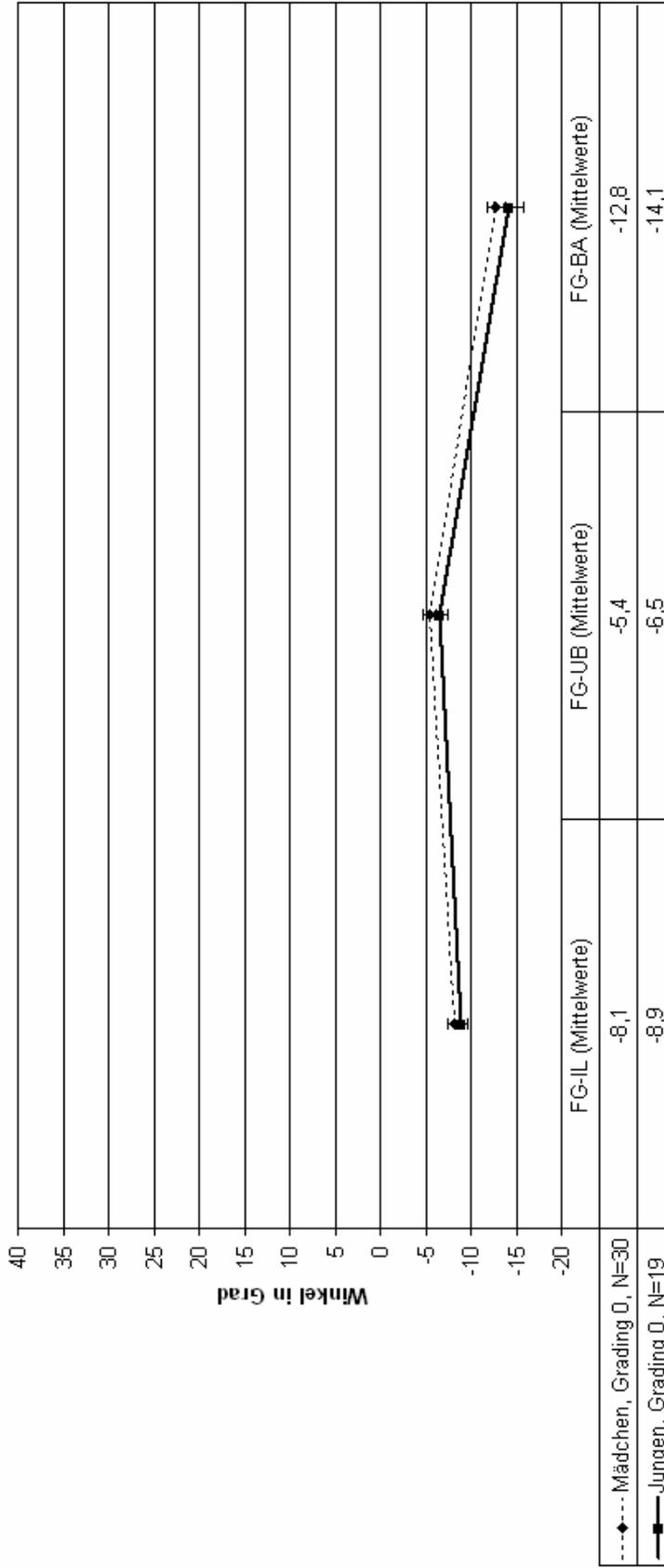
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-2: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 0



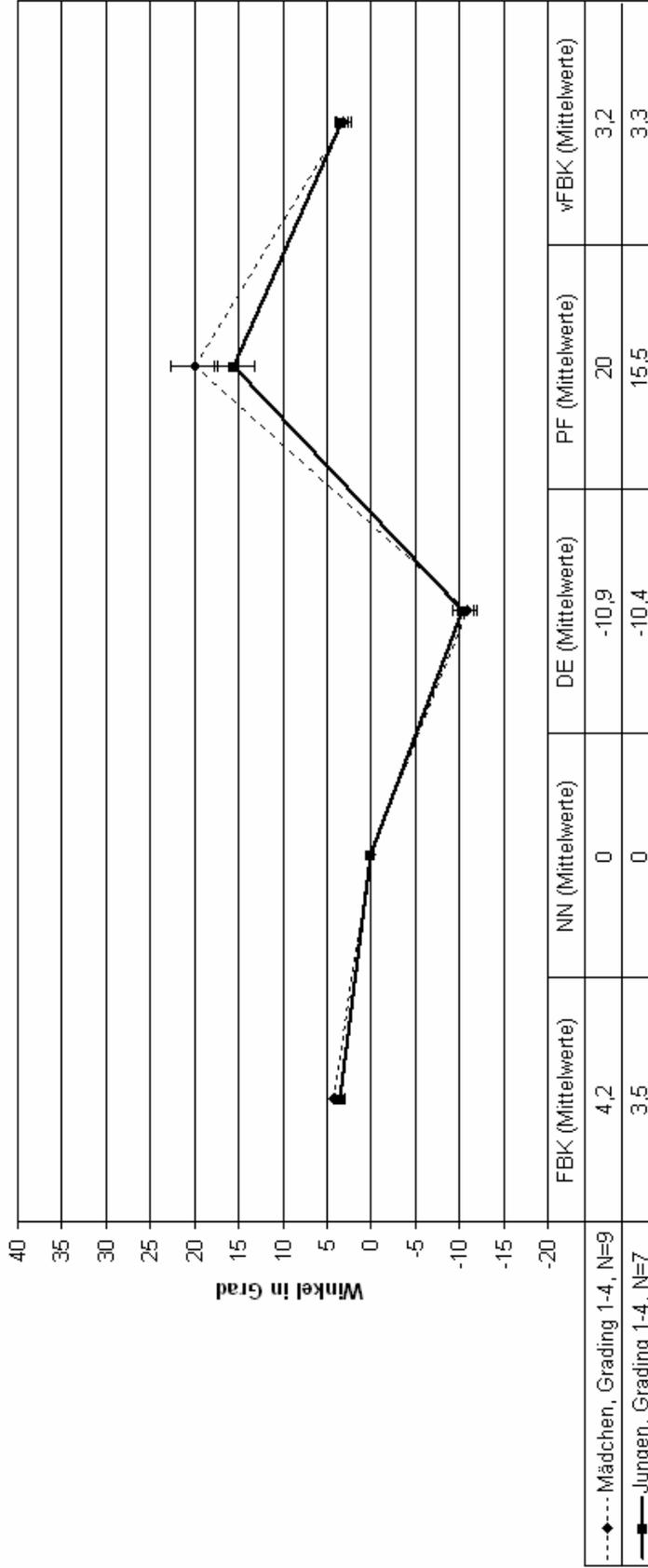
Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-3: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 0



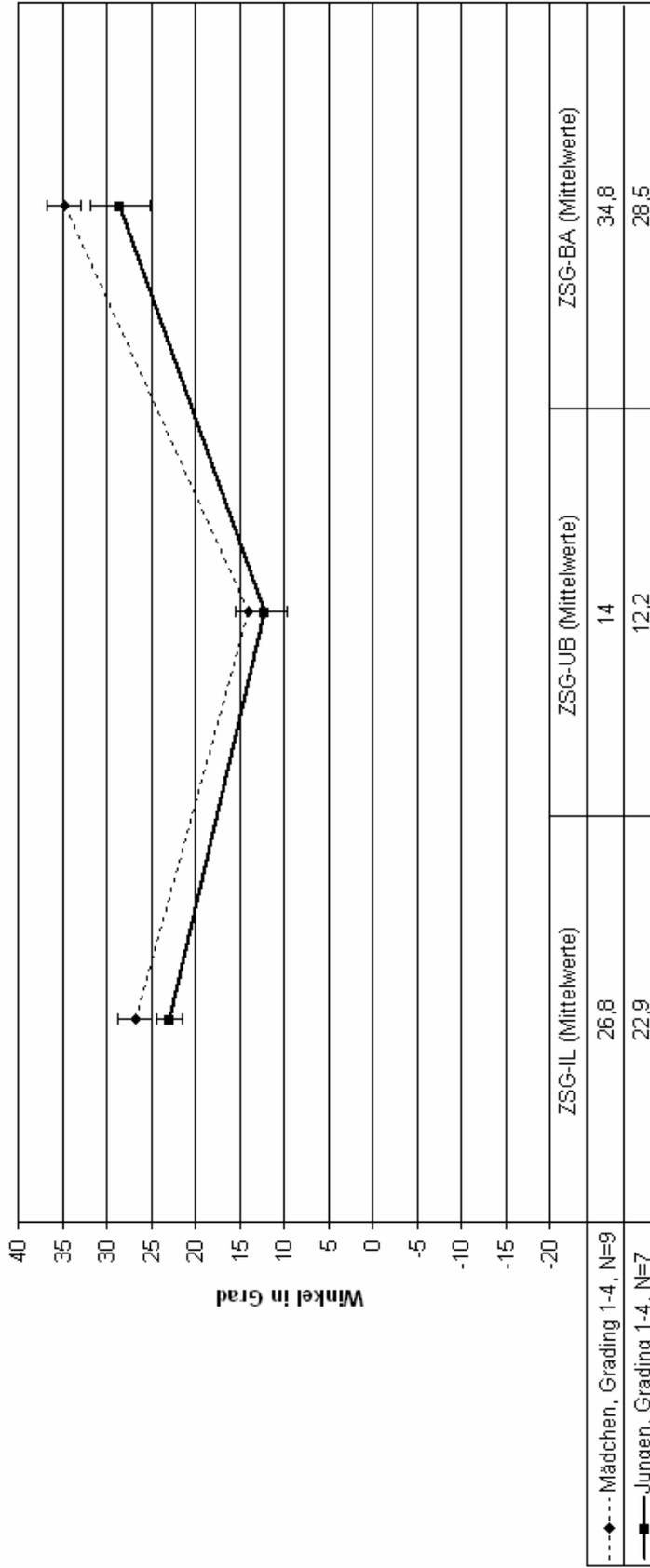
Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-4: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 1-4



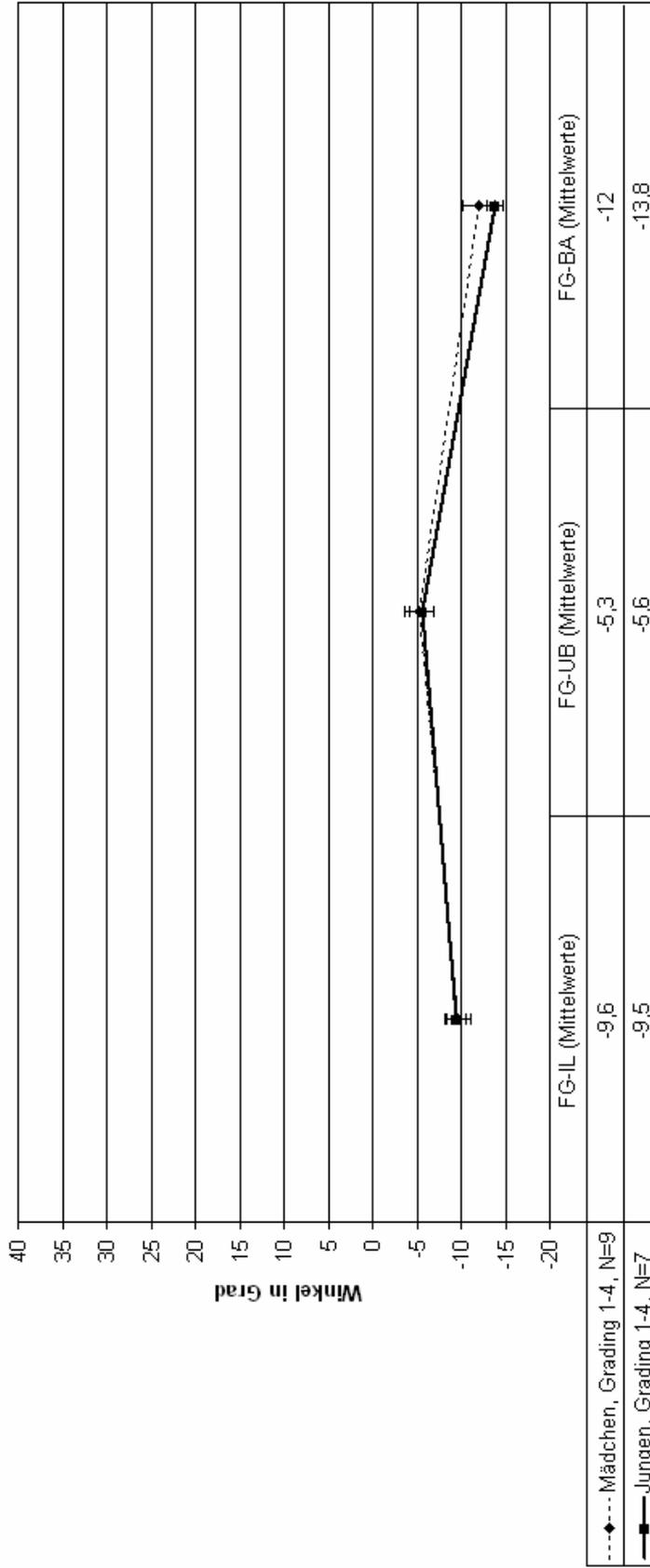
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalexension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-5: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 1-4



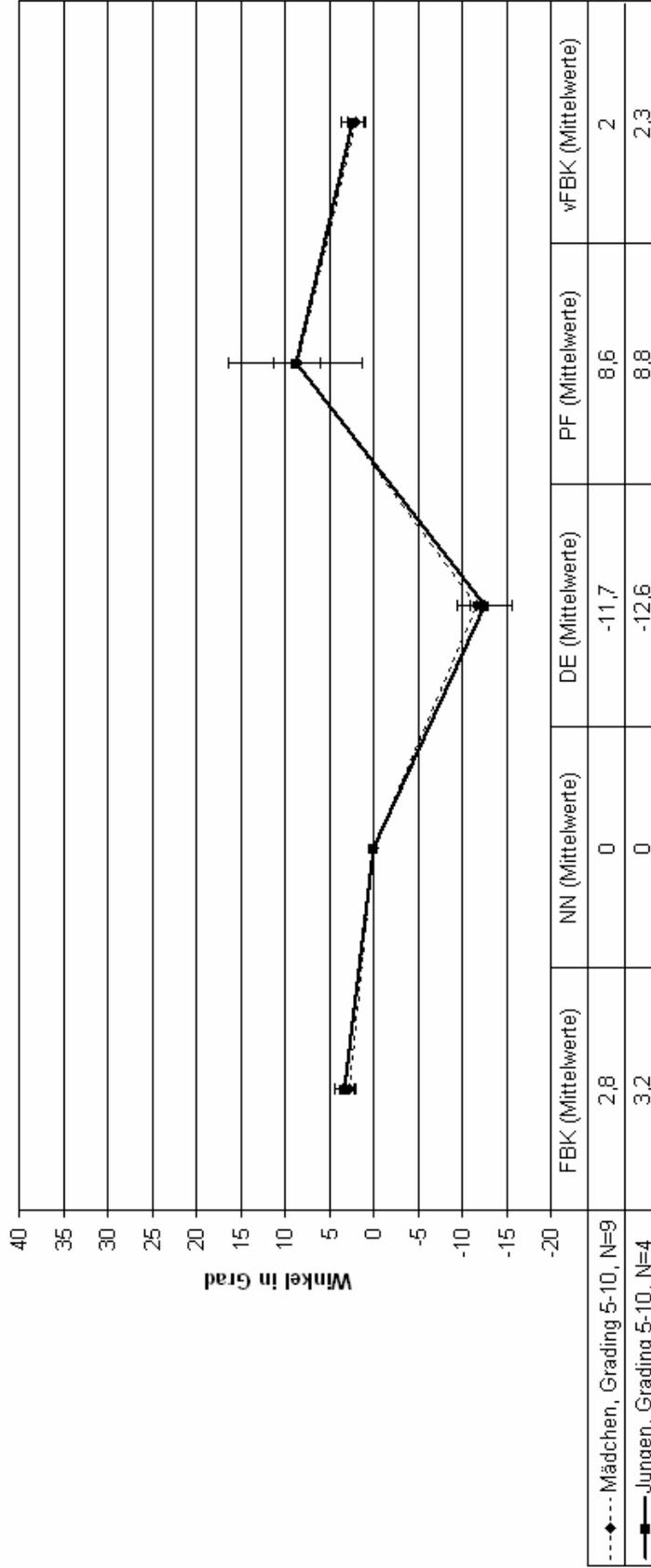
Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung). Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-6: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 1-4



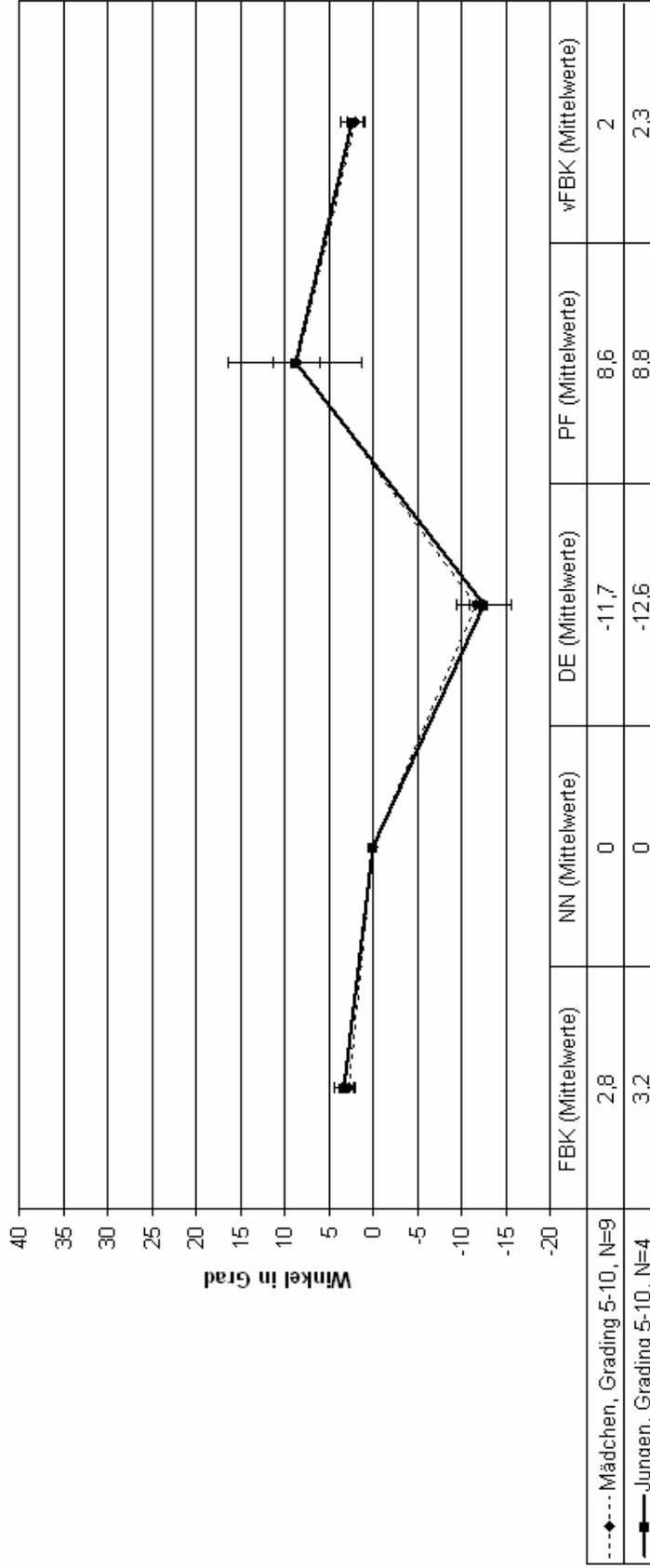
Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-7: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 5-10



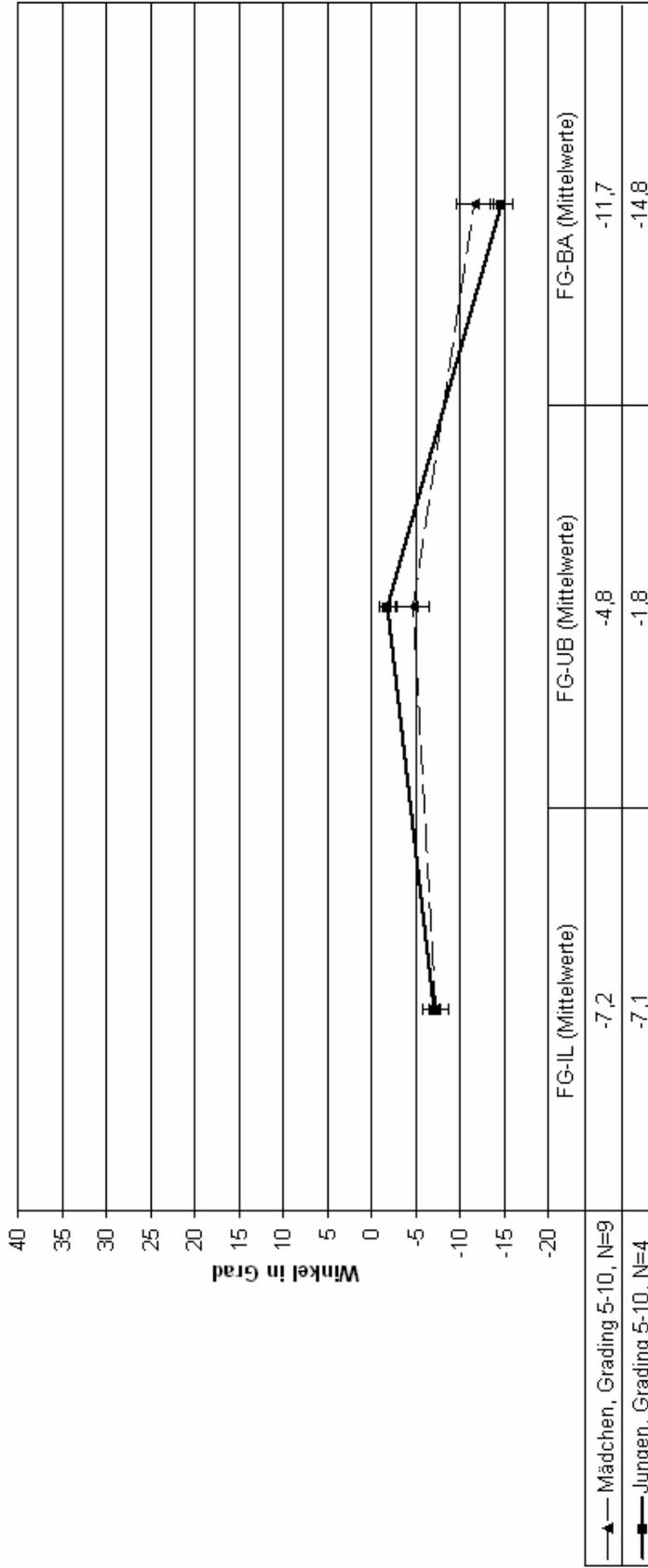
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalexension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-8: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.2-9: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Mädchen vs. Jungen mit dem Grading 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[*]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

3.3 Vergleich der Gangarten zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren der jeweiligen Schweregrad-Gruppen Grading 0, Grading 1-4 und Grading 5-10

Nachdem in mehreren Studien auf den Wandel des Gangbildes mit Rücksicht auf das Alter eines Menschen hingewiesen wurde, haben wir das Gangbild von Testpersonen bis zu 10 Jahren mit dem von Probanden, die über 10 Jahre alt waren, verglichen. Dabei sind wir analog wie beim Vergleich der Gangarten zwischen Mädchen und Jungen vorgegangen.

3.3.1 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(0)-Gruppe

Die Anzahl der gefilmten Füße in der jüngeren Gruppe betrug 12, in der älteren Gruppe 37.

3.3.1.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch 3.3-1)

Mit Ausnahme zur Dorsalextension mit nahezu gleichen OSG-Winkelwerten in beiden Altersgruppen wurden von den Probanden über 10 Jahren in den anderen Komponenten (FBK, PF und vFBK) höhere Werte gemessen. Der Unterschied fiel am stärksten in der Plantarflexion mit 15,6 Grad bei der jüngeren und 21,3 Grad bei der älteren Gruppe auf. Auch in der Statistik konnte ein signifikanter Unterschied in allen drei erwähnten Komponenten bestätigt werden. Somit können Kinder mit bis zu 10 Jahren von über 10-Jährigen eindeutig an den Winkeln im Fuß-Boden-Kontakt, in der Plantarflexion und vor dem Fuß-Boden-Kontakt unterschieden werden.

3.3.1.2 Vergleich des Zehenspitzengangs (siehe auch 3.3-2)

Im Gegensatz zum Normalgang wurden im arithmetischen Mittel der OSG-Winkel beim Zehenspitzengang keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen festgestellt, was statistisch bestätigt wurde. Der Zehenspitzengang ist somit bei Kindern bis zu 10 Jahren und Kindern über 10 Jahren nicht unterschiedlich ausgeprägt.

3.3.1.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch 3.3-3)

Im Fersengang zeigten sich zwischen den beiden Altersgruppen Unterschiede bei Durchführung der Komponente Fersengang bei Abstützung (FG-BA). Hierbei erreichte die jüngere Altersgruppe im OSG Winkelwerte von durchschnittlich 10,1 Grad, während die Über-10-Jährigen 14,3 Grad aufwiesen. Die anderen Komponenten zeigten nahezu identische Werte. Nach statistischer Untersuchung bestand für diese oben genannte Komponente ein signifikanter Unterschied, womit festgestellt werden konnte, dass die beiden Altersgruppen ohne rheumatische Sprunggelenksbeteiligung neben Komponenten des Normalganges auch im Fersengang bei der Abstützung ein unterschiedliches Gangverhalten vorweisen und hieran in der Ganganalyse erkannt werden konnten.

3.3.2 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(1-4)-Gruppe

Auf gleiche Weise wie in 3.3.1 wird der Vergleich zwischen den beiden Altersgruppen mit leichtem rheumatischem Sprunggelenksbefall durchgeführt. Die Grading-(1-4)-Gruppe beinhaltete fünf Füße von bis zu 10 Jahre alten und elf Füße von über 10 Jahre alten Probanden.

3.3.2.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch 3.3-4)

Mit leicht unterschiedlichen Werten in der Plantarflexion – die jüngeren Patienten wiesen im Gegensatz zur vorher untersuchten Grading-(0)-Gruppe hier höhere Werte (PF bei 19,8 Grad) auf als die älteren (PF bei 17,3 Grad) – wurden ansonsten keine Unterschiede in den anderen Komponenten des Normalgangs nachgewiesen. Aber auch die unterschiedlichen Werte der Plantarflexion waren in der Statistik nicht signifikant. Ein Unterschied im Normalgang bestand bei den beiden Altersgruppen mit leichter rheumatisch-bedingter OSG-Affektion somit nicht.

3.3.2.2 Vergleich des Zehenspitzenengangs (siehe auch 3.3-5)

Ebenso beim Zehenspitzenengang konnten trotz leichter Unterschiede – vor allem im Zehenspitzenengang bei Abstützung mit 34,5 Grad bei den Bis-zu-10-Jährigen und 30,9 Grad bei den Probanden höheren Alters – deren statistische Signifikanz nicht belegt werden.

3.3.2.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch 3.3-6)

Nach Betrachtung der Mittelwerte zeigten die Probanden der jüngeren Altersgruppe im Fersengang höhere Werte der Dorsalextension als deren ältere Artgenossen. Jedoch nach statistischer Überprüfung bestand hier keine Signifikanz.

3.3.3 Vergleich des Gangbildes zwischen Probanden bis zu 10 Jahren und Probanden über 10 Jahren in der Grading-(5-10)-Gruppe

Nach gleichem Verfahren soll zwischen den beiden Altersgruppen bei schwerem rheumatischem Sprunggelenksbefall verglichen werden. Es konnte jedoch keine statistische Berechnung erfolgen, da in der jüngeren Altersgruppe nur ein Fuß betroffen war. Die Gruppe der Probanden über 10 Jahren zählte 12 Füße.

3.3.3.1 Vergleich des Normalgangs (siehe auch 3.3-7)

Rein deskriptiv konnte hier festgestellt werden, dass die beiden Altersgruppen sehr ähnliche Werte im und vor dem Fuß-Boden-Kontakt aufwiesen. Eine Differenz war sowohl in der Dorsalextension als auch insbesondere in der Plantarflexion zu verzeichnen, wobei die jüngere Testperson eine stärkere Dorsalextension, aber eine deutlich schwächere Plantarflexion vollziehen konnte. Aufgrund der geringen Fallzahl konnte keine Schlussfolgerung beziehungsweise Interpretation gezogen werden.

3.3.3.2 Vergleich des Zehenspitzenengangs (siehe auch 3.3-8)

Es konnte beschrieben werden, dass die jüngere Testperson bei ZSG-IL und ZSG-BA geringere Werte aufwies, um bei ZSG-UB höhere Werte zu erreichen.

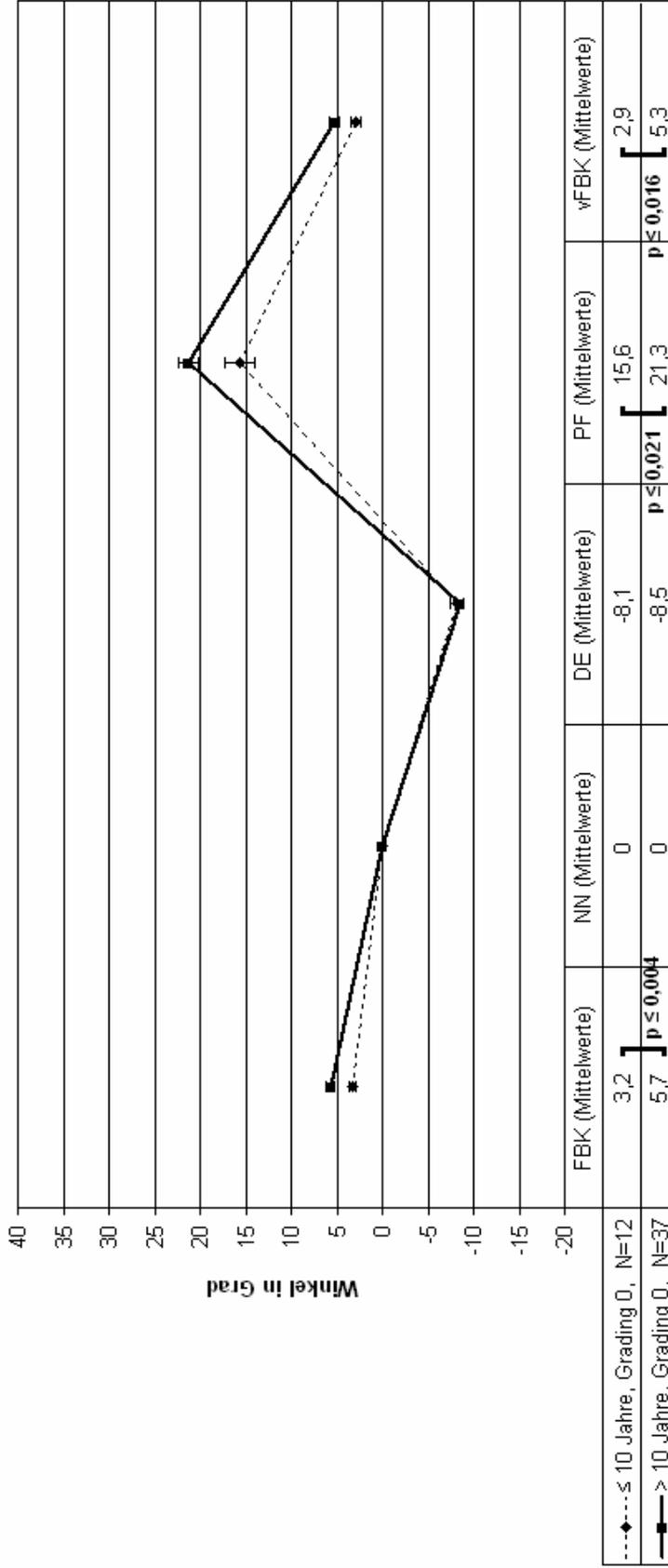
Wie schon in 3.3.3.1 erwähnt, konnten hier keine weiteren Vermutungen angestellt werden, welche sich auf den Vergleich zweier Gruppen beziehen.

3.3.3.3 Vergleich des Fersengangs (siehe auch 3.3-9)

Im Fersengang konnten bei der älteren Probandengruppe höhere Werte in den Fersengangkomponenten gemessen werden. Die jüngere Testperson führte sogar in der zweiten Komponente – dem Fersengang bei Belastung (FG-UB) – keine Dorsalextension mehr, sondern eine leichte Plantarflexion aus.

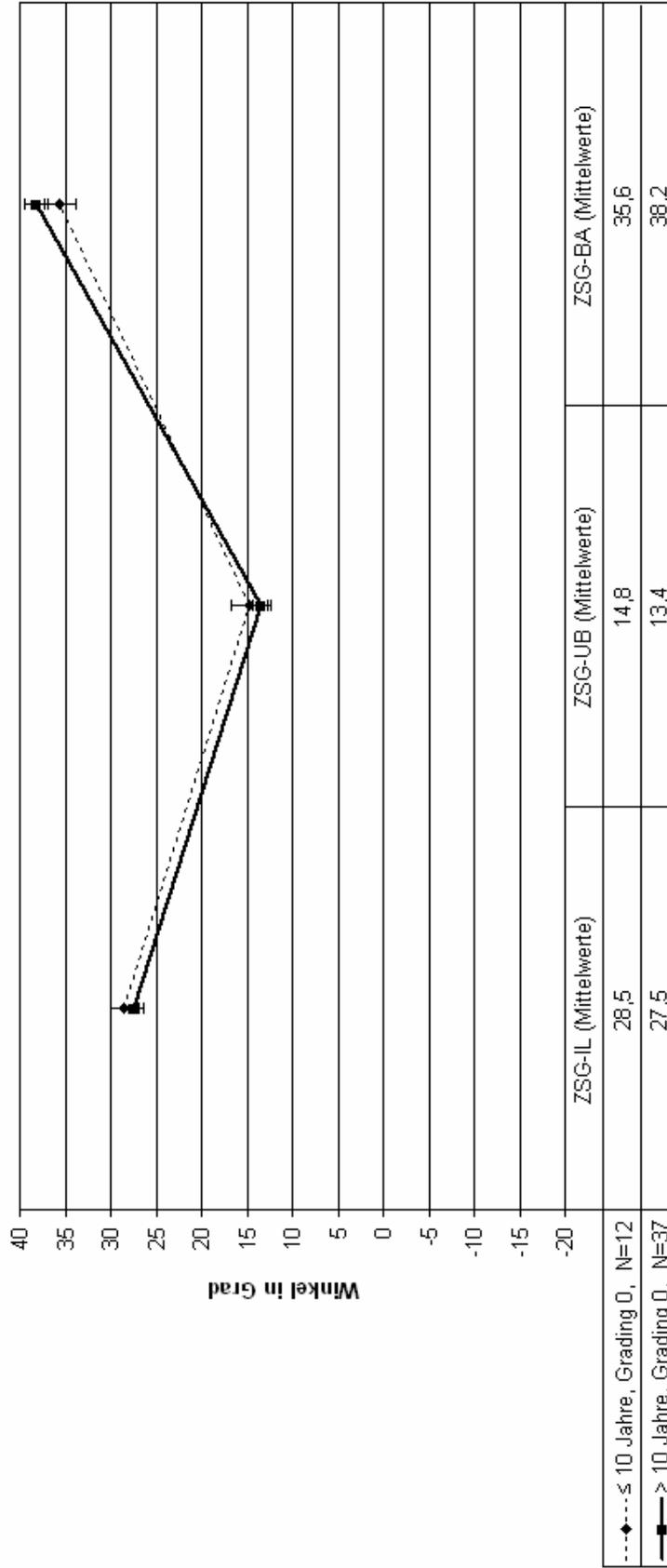
Durch die zu geringe Anzahl von Testpersonen vermag die Ganganalyse beim Fersengang aktuell keine Unterschiede im Gangbild bei schwergradiger OSG-Beteiligung aufzudecken, welche als altersspezifisch gelten können.

Abb. 3.3-1: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 0



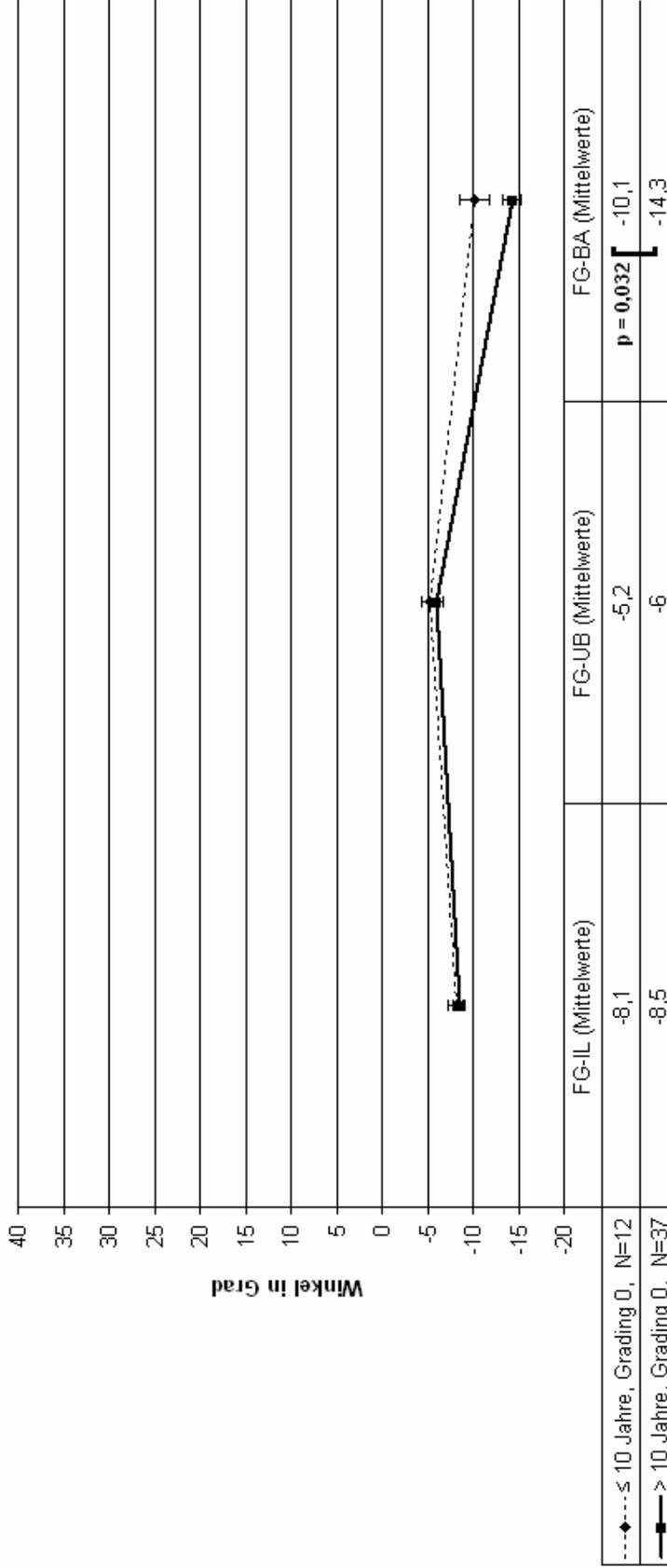
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalexension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-2: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 0



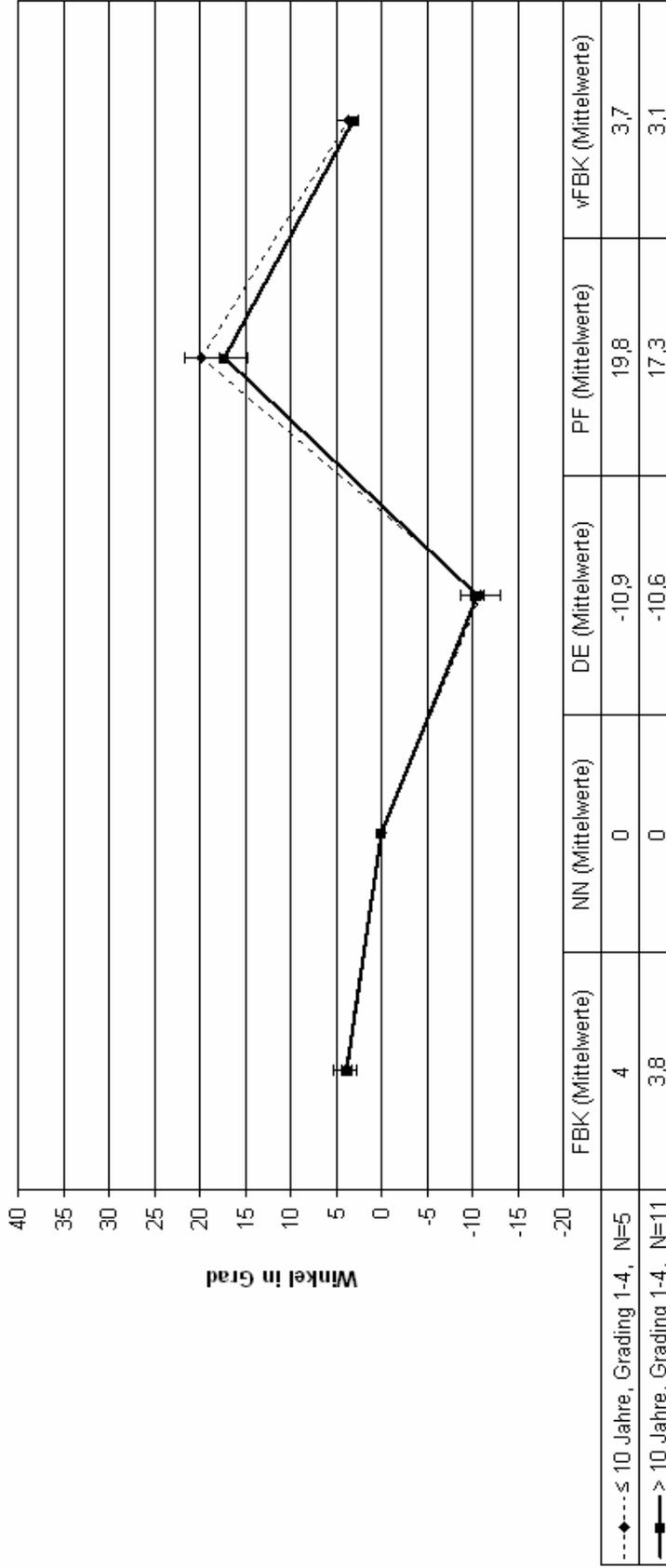
Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-3: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 0



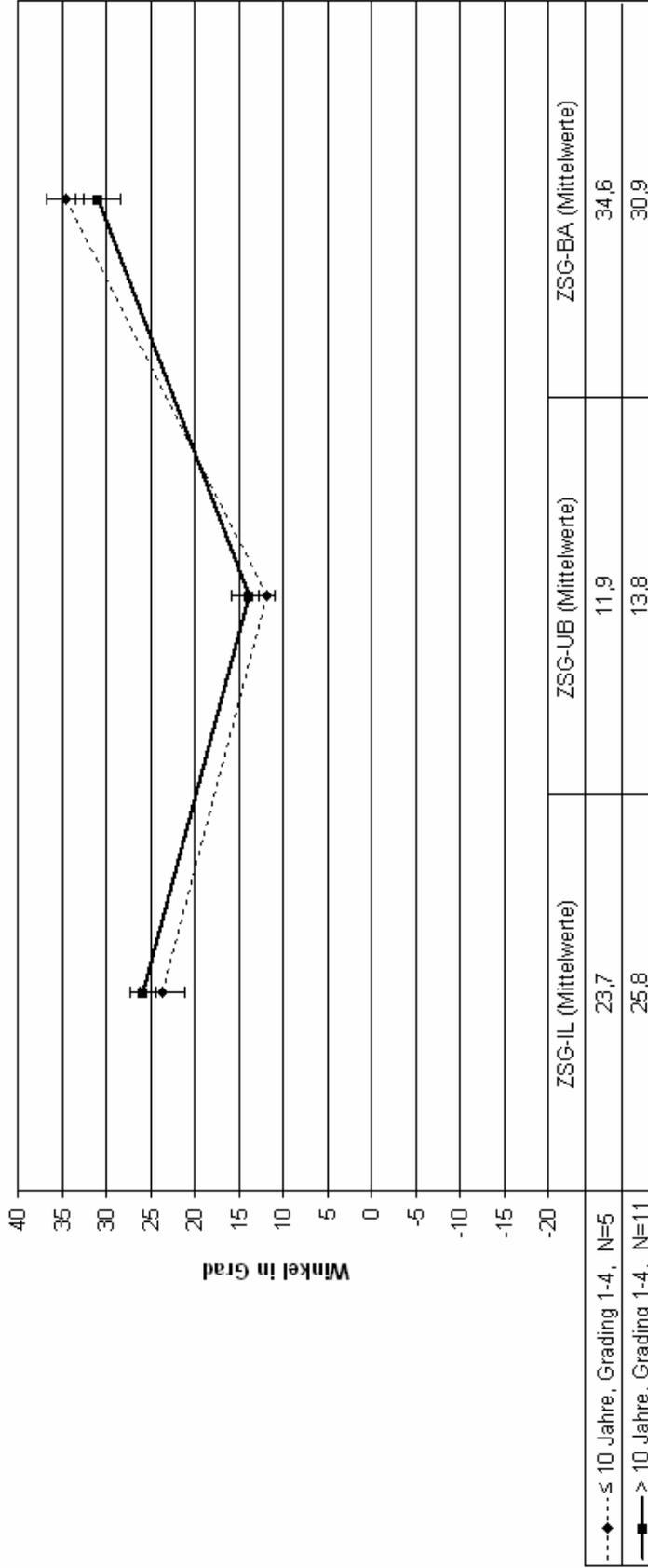
Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-4: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 1-4



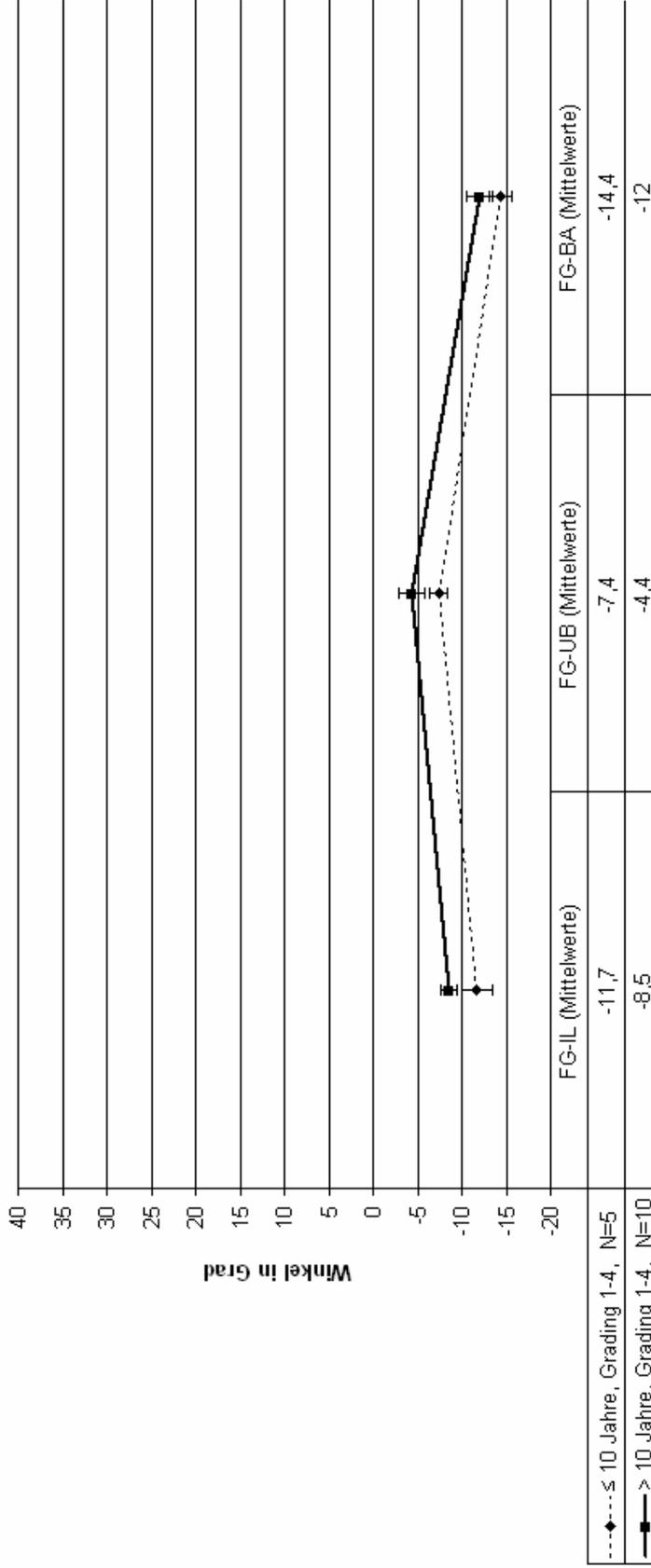
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-5: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenengang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 1-4



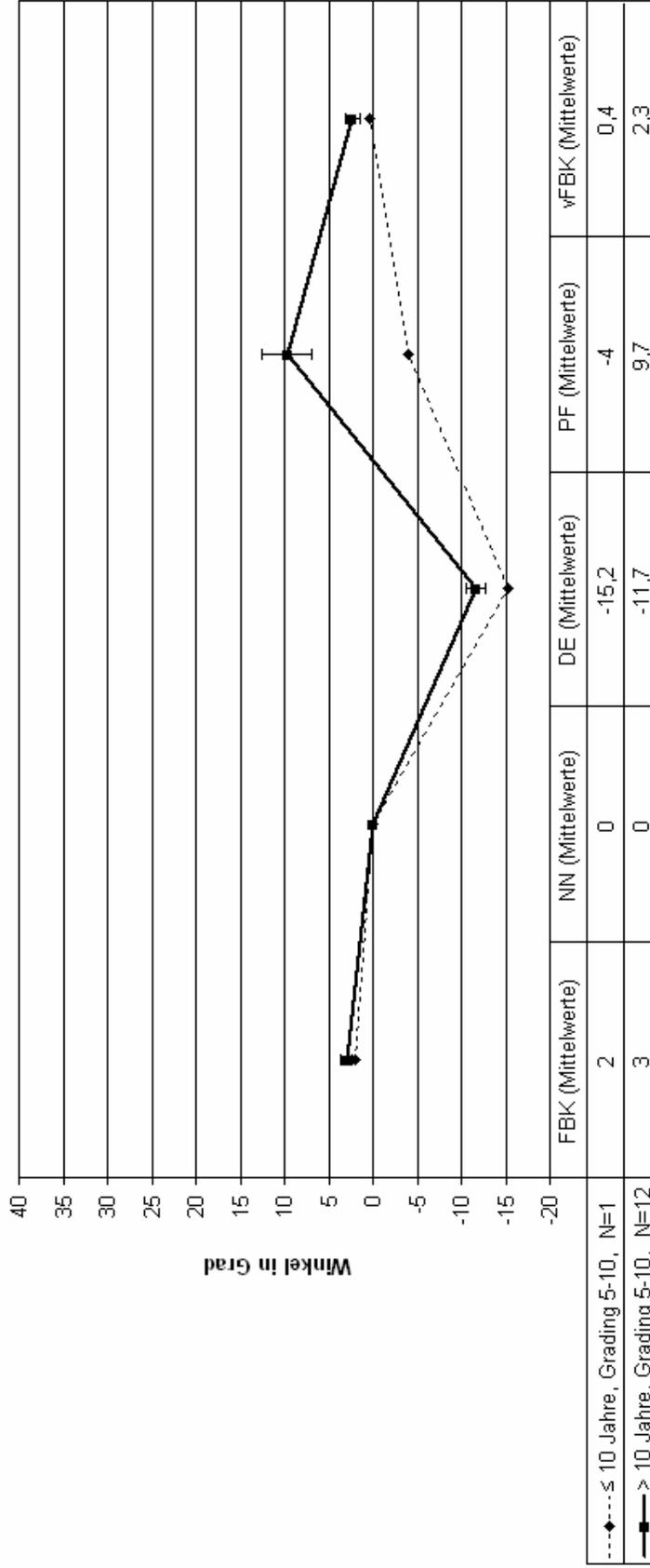
Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenengang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenengang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-6: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 1-4



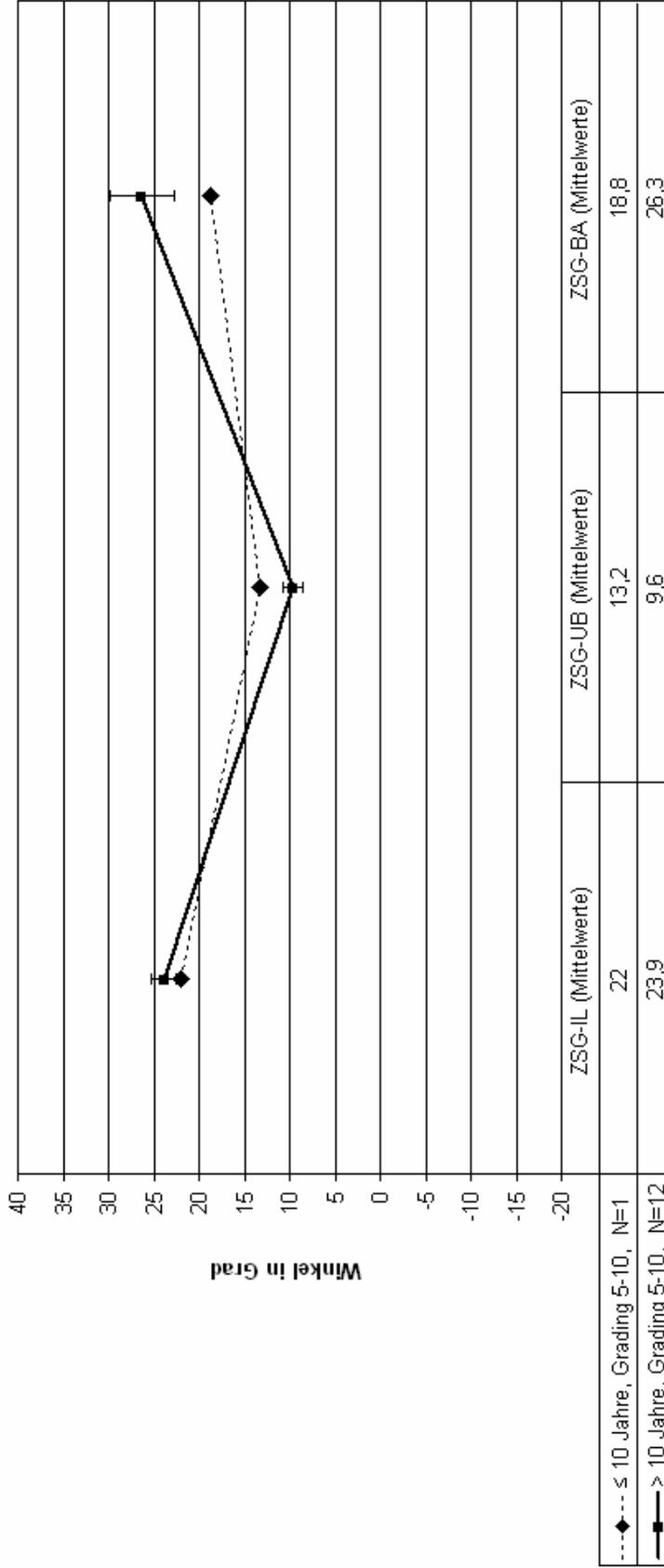
Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-7: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Normalgang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 5-10



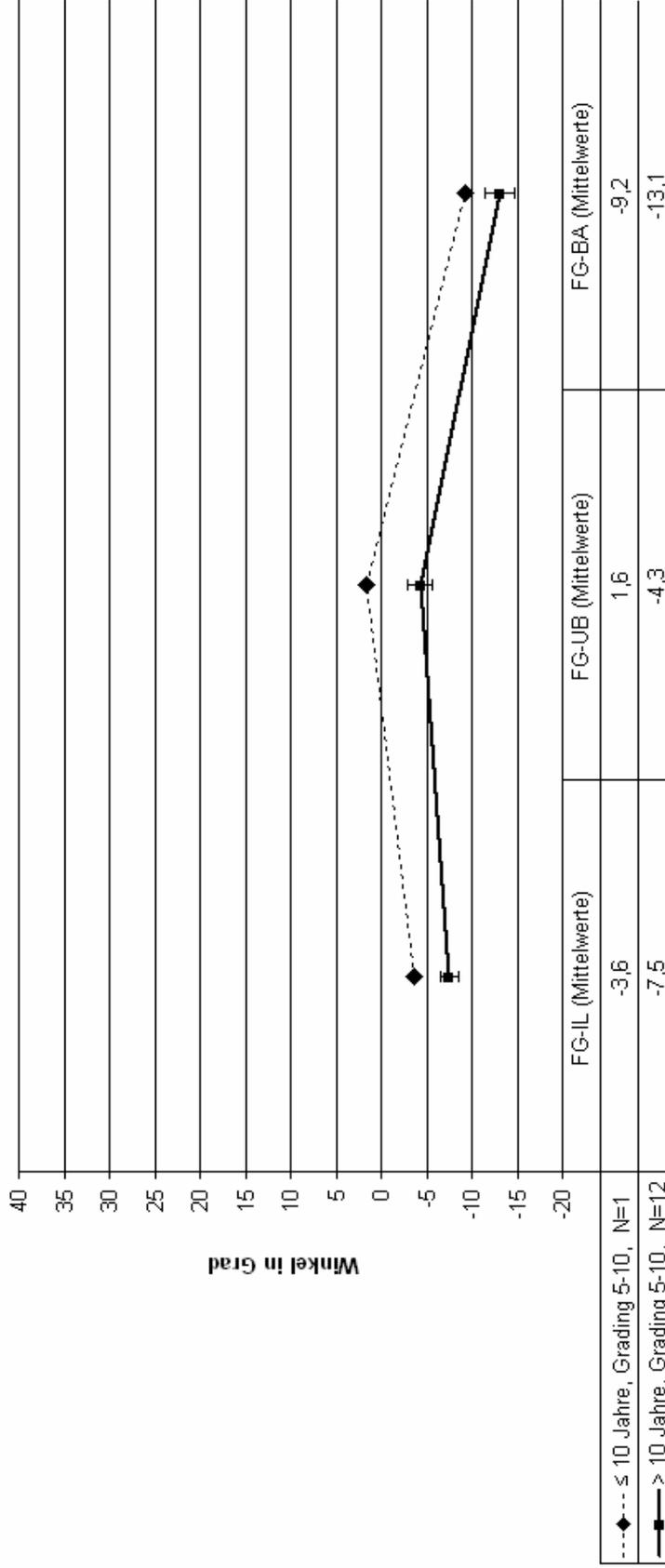
Legende der einzelnen Komponenten: FBK (Fuß-Boden-Kontakt), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), PF (Plantarflexion), vFBK (vor dem Fuß-Boden-Kontakt).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-8: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Zehenspitzenengang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: ZSG-IL (Zehenspitzenengang in der Luft), ZSG-UB (Zehenspitzenengang unter Belastung), ZSG-BA (Zehenspitzenengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "[]" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

Abb. 3.3-9: Vergleich der Winkel des oberen Sprunggelenks im Fersengang Kinder bis zu 10 Jahren vs. Kinder über 10 Jahren mit dem Grading 5-10



Legende der einzelnen Komponenten: FG-IL (Fersengang in der Luft), FG-UB (Fersengang unter Belastung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).
 Signifikante Unterschiede sind mit einer Klammer "[]" bzw. "J" und neben anstehendem Signifikanzwert markiert.

3.4 Vergleich der Plantarflexion und Dorsalextension zwischen klinischer Untersuchung, Normalgang und den Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs

Nun unternahmen wir den Vergleich zwischen den Werten von Plantarflexion und Dorsalextension in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und im Zehenspitzen- und Fersengang. Das Wesen der klinischen Untersuchung bestand in einer passiven Durchbewegung des Sprunggelenks durch den Untersucher. Im Gegensatz dazu führte der Patient im Normal-, Fersen- und Zehenspitzen- und Fersengang eine aktive Bewegung durch. Es sollten hierbei Erkenntnisse gewonnen werden, inwieweit ein junger Patient je nach Schweregrad seiner OSG-Beteiligung seine passiv ermittelten Bewegungsausmaßressourcen im alltäglichen Normalgang und unter erschwerten Bedingungen – also im Zehenspitzen- und Fersengang - ausschöpfen kann.

3.4.1 Vergleich in der Grading-(0)-Gruppe (siehe auch Abb. 3.4-1)

In der Gruppe, welche keine Sprunggelenksbeteiligung im Rahmen ihrer rheumatischen Erkrankung aufwies, konnte festgestellt werden, dass die Werte von Dorsalextension mit durchschnittlich 19,8 Grad und Plantarflexion mit 60 Grad in der klinischen Untersuchung am höchsten waren.

Die Werte im Normalgang lagen mit 20 Grad in der Plantarflexion und 8,5 Grad in der Dorsalextension am niedrigsten. Die Maximalwerte im Zehenspitzen- und Fersengang mit 37,7 Grad und mit 13 Grad im Fersengang befanden sich im Mittelbereich.

Trotz der Voraussetzungen eines intakten oberen Sprunggelenks werden von den passiv ermittelten Werten im Normalgang 33,3 % bei der Plantarflexion und 42,9 % bei der Dorsalextension verwendet. Die aktiven Maximalwerte im Zehenspitzen- und Fersengang erreichen 62,8 % und im Fersengang 66,7 % des zur Verfügung stehenden Bewegungsausmaßes.

Demnach nutzten junge Patienten ohne Sprunggelenksbeteiligung im alltäglichen Gehen nur einen Bruchteil ihres vom Gelenk her ermöglichten Bewegungspotentials.

3.4.2 Vergleich in der Grading-(1-4)-Gruppe (siehe auch Abb. 3.4-2)

Die Gruppe mit den leicht betroffenen oberen Sprunggelenken wies eine leichte Bewegungseinschränkung während der klinischen Untersuchung auf. Die Werte betragen im Durchschnitt 43,2 Grad in der Plantarflexion und 24,6 Grad in der Dorsalextension. Im Normalgang konnten von diesen Ressourcen in der Plantarflexion 41,9 % und in der Dorsalextension 43,5 % ausgenutzt werden. Im Vergleich zu der Grading-(0)-Gruppe ist hier ein Verlust des aktiven Bewegungsausmaßes in der Plantarflexion zu verzeichnen, während das Potential in der Dorsalextension im Normalgang nahezu in gleichem Ausmaß wie bei Gesunden verwendet wurde.

In der Plantarflexion beim Zehenspitzen gang standen hier nun 74,3 % der Beweglichkeit zur Verfügung, in der Dorsalextension beim Fersengang konnten nur noch 52 % in Anspruch genommen werden.

Somit scheinen Patienten mit leichter OSG-Beteiligung im Normal- und Zehenspitzen gang das Potential der passiven wenn auch eingeschränkten Beweglichkeit auszunutzen. Im Fersengang scheint jedoch ein Abfall der Winkelausschöpfung vorzuliegen.

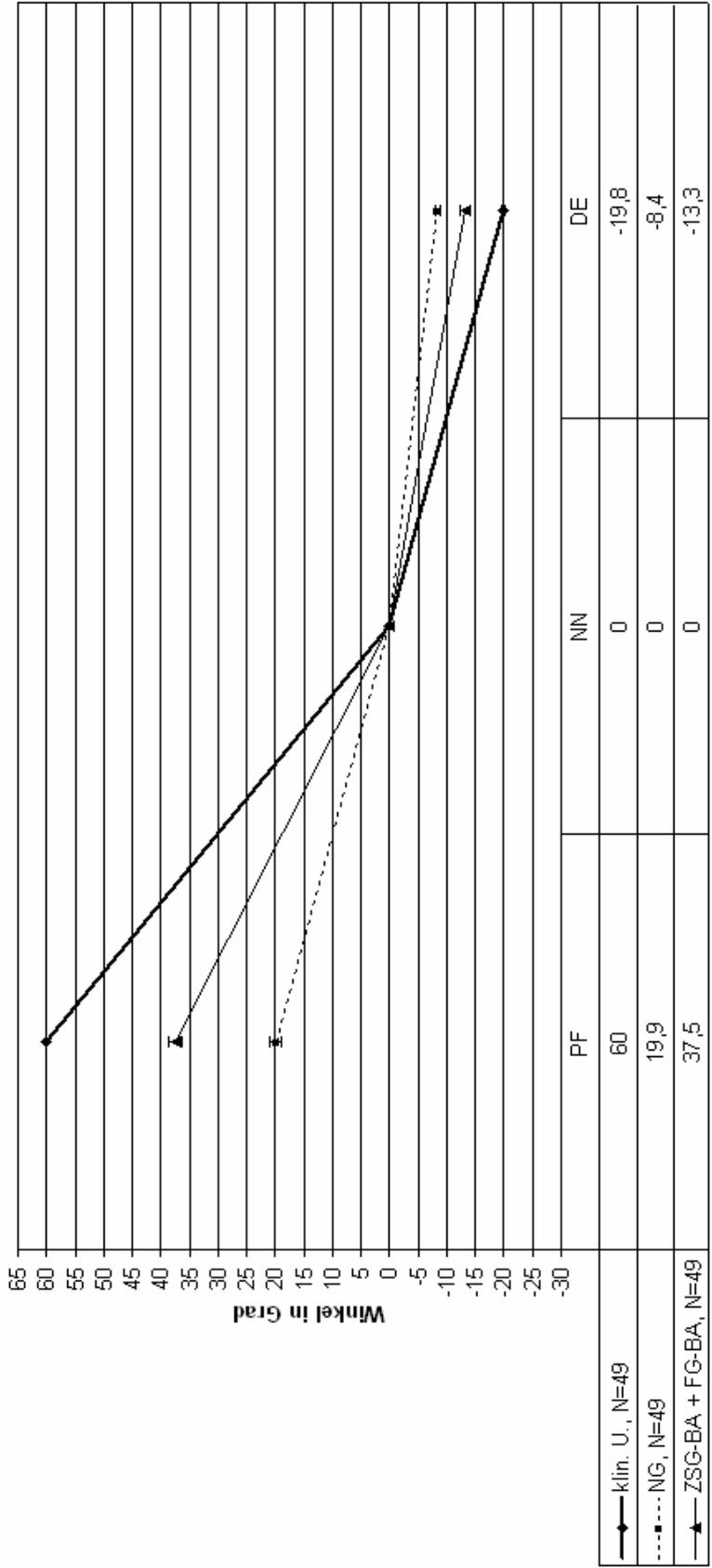
3.4.3 Vergleich in der Grading-(5-10)-Gruppe (siehe auch Abb. 3.4-3)

In der klinischen Untersuchung war ein deutlicheres Ausmaß der Beweglichkeitseinschränkung festzustellen. Die Plantarflexion erreichte Werte von 31,2 Grad, die Dorsalextension Werte von 28,1 Grad. Es fiel auf, dass im Vergleich zur Grading-(0)-Gruppe die Plantarflexion deutlich eingeschränkt war, die Dorsalextension jedoch leicht zugenommen hat. In der Ganganalyse konnten in der Plantarflexion beim Normalgang mit 8,6 Grad 27,6 % und beim Zehenspitzen gang mit 25,7 Grad 82,4 % des passiven Bewegungsausmaßes erlangt werden. Die Dorsalextension betrug im Normalgang bei 12 Grad 42,7 % und im Fersengang bei 12,8 Grad 45,6 %.

Bei deutlich geringerem Bewegungsausmaß konnte im Normalgang im Vergleich zur Grading-(0)- und Grading-(1-4)-Gruppe eine verminderte Ausschöpfung der Plantarflexion festgestellt werden. In den aktiven Extremwerten (Zehenspitzen- und Fersengang) wurde die Plantarflexion in höherem Maße in Re-

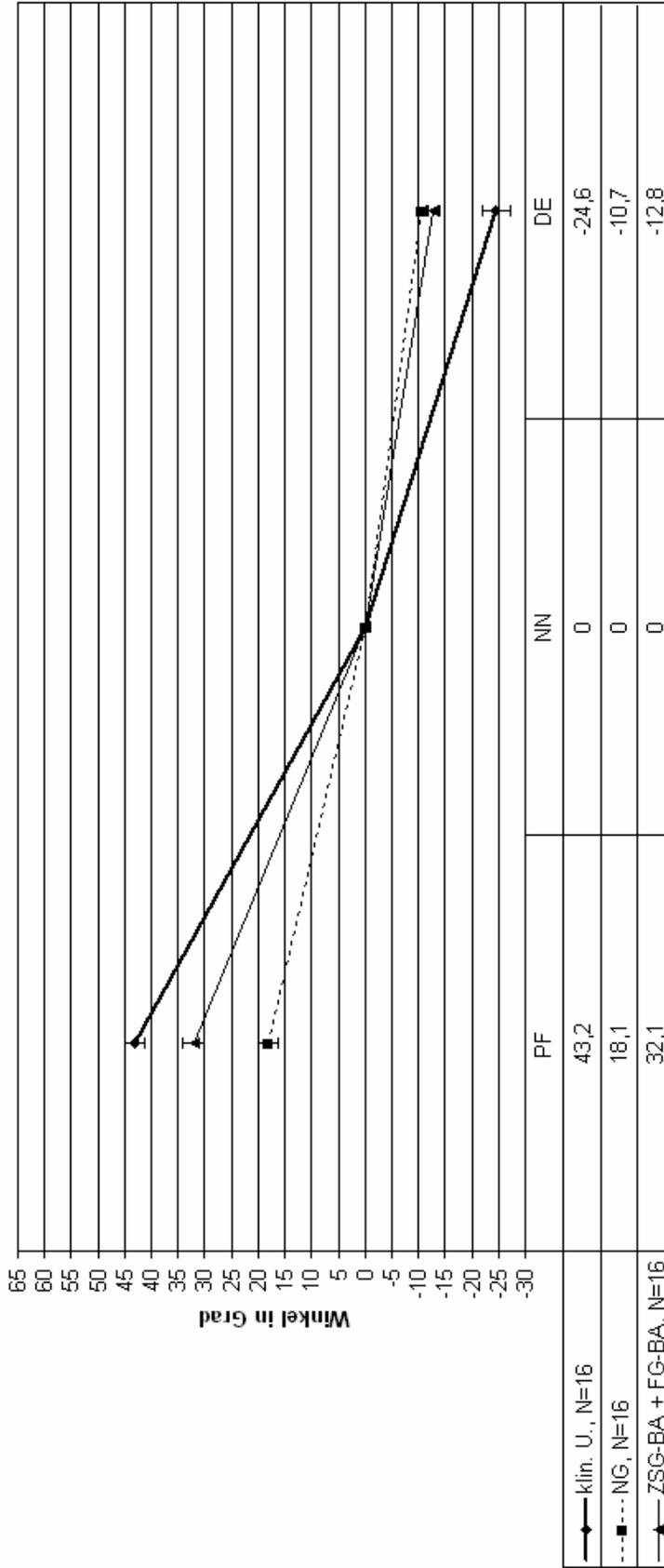
lation zu den passiven Rahmenbedingungen ausgenutzt als bei der Grading-(0)- und der Grading-(1-4)-Gruppe. Im Gegensatz dazu wurde im Fersengang wiederum weniger von den zu Verfügung stehenden Bewegungsressourcen verwendet.

Abb. 3.4-1: Vergleich der Maximalwerte von klinischer Untersuchung vs. Normalgang vs. Zehenspitzen- und Fersengang bei der Gruppe mit Grading 0



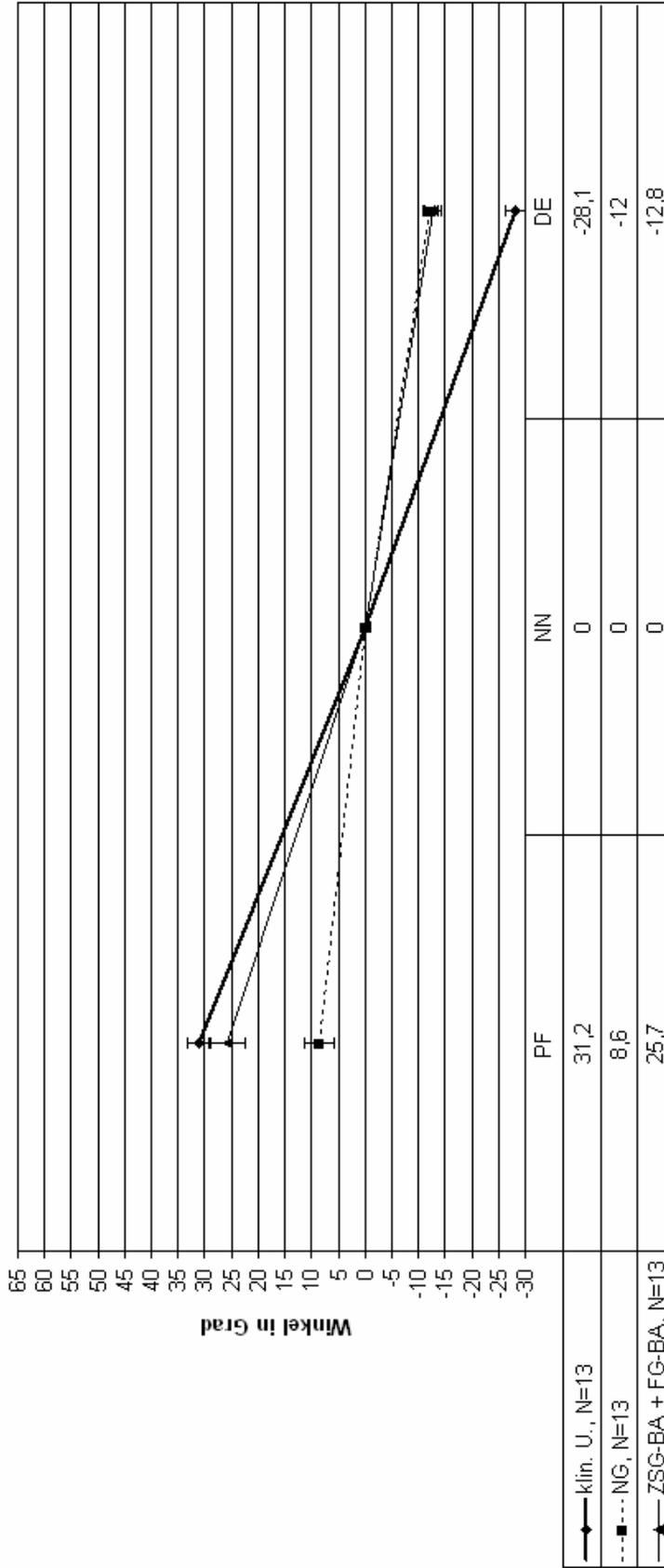
Legende: PF (Plantarflexion), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), klin. U. (klinische Untersuchung), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.4-2: Vergleich der Maximalwerte von klinischer Untersuchung vs. Normalgang vs. Zehenspitzen- und Fersengang bei der Gruppe mit Grading 1-4



Legende: PF (Plantarflexion), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), klin. U. (klinische Untersuchung), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.4-3: Vergleich der Maximalwerte von klinischer Untersuchung vs. Normalgang vs. Zehenspitzen- und Fersengang bei der Gruppe mit Grading 5-10



Legende: PF (Plantarflexion), NN (Neutralnullstellung), DE (Dorsalextension), klin. U. (klinische Untersuchung), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

3.5 Vergleich der Patienten im Verlauf

Es wurden sechs Patienten mit OSG-Beteiligung sowie ein Patient ohne OSG-Affektion zu unterschiedlichen Zeitpunkten sowohl klinisch untersucht als auch einer Ganganalyse unterzogen. Es sollte nun in Abhängigkeit vom klinischen Bild des Patienten verglichen werden, inwieweit sich das Beweglichkeitsausmaß, welches durch Plantarflexion und Dorsalextension ermittelt wurde, änderte. Dazu wurden die Mittelwerte von Plantarflexion und Dorsalextension einmal in der klinischen Untersuchung, einmal im Normalgang und einmal im maximal möglichen Zehenspitzen- und Fersengang (also bei Abstützung, ZSG-BA und FG-BA) miteinander addiert. Bei Zehenspitzen- und Fersengang handelte es sich um die aktiv maximal mögliche Plantarflexion beziehungsweise Dorsalextension. Im weiteren Text wird sie häufig als aktive Maximalform und deren Winkelwerte als aktive Maximalwerte bezeichnet.

3.5.1 Der Verlauf von Patient A (siehe auch Abb. 3.5-1)

Der Patient A wurde nach den klinischen Kriterien „Bewegungseinschränkung des Gelenks“, „Schmerzen im OSG“, „Erguss im OSG“, „Weichteilschwellung des umgebenden Gewebes“ und „Deformität/Fehlstellung“ zum Zeitpunkt 1 mit Grading 2 an beiden Sprunggelenken beurteilt. Bei Wiedervorstellung zum Zeitpunkt 2 (nach 1 ¼ Monaten) wies er nur noch Grading 1 auf.

In der klinischen Untersuchung hat sich das passive Bewegungsausmaß verbessert.

In der Ganganalyse konnten sowohl im Normalgang als auch in den Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs ebenfalls eine Zunahme der Winkelwerte zum Zeitpunkt 2 festgestellt werden.

3.5.2 Der Verlauf von Patient B (siehe auch Abb. 3.5-2)

Patient B wies zum Zeitpunkt 1 Grading 5 an beiden Sprunggelenken auf. Zum Zeitpunkt 2 (nach 10 ¼ Monaten) wurde beidseits nur noch Grading 3 festgestellt.

In der klinischen Untersuchung hat sich das passive Bewegungsausmaß am linken Fuß jedoch verschlechtert, während auf der rechten Seite – welche zum Zeitpunkt 1 geringere Werte aufwies – sich keine Veränderung zeigte.

In der Ganganalyse zeigte sich beim Normalgang eine Verbesserung im Bewegungsausmaß im linken Sprunggelenk, das rechte Sprunggelenk zeigte in der Beweglichkeit keine Veränderung. In den aktiven Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs wurde ein leichter Rückgang in beiden Sprunggelenken bemerkt.

3.5.3 Der Verlauf von Patient C (siehe auch Abb. 3.5-3)

Patient C wurde zum Zeitpunkt 1 am linken OSG mit Grading 5, am rechten OSG mit Grading 4 eingestuft. Nach 11 $\frac{3}{4}$ Monaten wurde der Zustand der beiden Sprunggelenke um je eine Gradingstufe herabgesetzt.

In der klinischen Untersuchung konnte eine Verbesserung im Bewegungsausmaß verzeichnet werden. Ebenfalls konnte in der Ganganalyse sowohl im Normalgang als auch bei aktiver Maximalbewegung eine solche Verbesserung festgestellt werden.

3.5.4 Der Verlauf von Patient D (siehe auch Abb. 3.5-4)

Sowohl zum Zeitpunkt 1 als auch zum Zeitpunkt 2 (11 $\frac{1}{4}$ Monate später) wurden beide Sprunggelenke von Patient D mit Grading 5 versehen.

In der klinischen Untersuchung hat das passive Bewegungsausmaß außer einer leichten Verschlechterung der Beweglichkeit im rechten OSG keine Veränderung gezeigt.

Im Normalgang wurde zum Zeitpunkt 2 eine Zunahme des Bewegungsausmaßes im linken OSG festgestellt, wobei sich dieses im rechten OSG zum Zeitpunkt 2 verringerte. Bei der aktiven Maximalbewegung zeigte sich links keine wesentliche Veränderung. Auf der rechten Seite kam es wie auch in der klinischen Untersuchung und im Normalgang zu einer Abnahme des Bewegungsausmaßes, welches zu beiden Zeitpunkten geringere Werte als das linke Sprunggelenk aufwies.

3.5.5 Der Verlauf von Patient E (siehe auch Abb. 3.5-5)

Bei Patient E liegen Werte zu 3 Zeitpunkten vor. Das linke OSG hatte zu Beginn Grading 6 zu verzeichnen, welches sich zum Zeitpunkt 2 (6 ¼ Monate später) um eine Stufe verringerte, um zum Zeitpunkt 3 (6 ¾ Monate nach Zeitpunkt 2) wieder bei 6 zu liegen. Das rechte OSG wurde zunächst mit Grading 6 beurteilt. Zum zweiten Zeitpunkt war nur noch Grading 5 zu verbuchen und zum Zeitpunkt 3 sogar nur noch Grading 3.

Das passive Bewegungsausmaß links hat sich zum Zeitpunkt 2 verschlechtert und ist zum Zeitpunkt 3 konstant geblieben. Rechts ist ein ähnliches Phänomen zu beobachten mit jedoch höheren Werten im Bewegungsausmaß als links.

Im Normalgang zeigte sich links eine kontinuierliche Abnahme des Bewegungsausmaßes, während im rechten OSG sich die Werte zunächst verbesserten, dann aber zum Zeitpunkt 3 geringere Werte aufwiesen als sogar zum Zeitpunkt 1. Bei den aktiven Maximalwerten zeigte sich im linken OSG ebenfalls wie bei Normalgang (NG) ein permanentes Absinken der Werte. Auf der rechten Seite konnte jedoch eine stetige Zunahme gesichtet werden. Die Beweglichkeit hat sogar die passiv ermittelten Werte in den Zeitpunkten 2 und 3 übertroffen. Nachdem aktive Werte passive nicht übersteigen können, ist anzunehmen, dass in der klinischen Untersuchung, zum Beispiel aufgrund von Schmerzen, nicht das volle Bewegungsausmaß gemessen werden konnte.

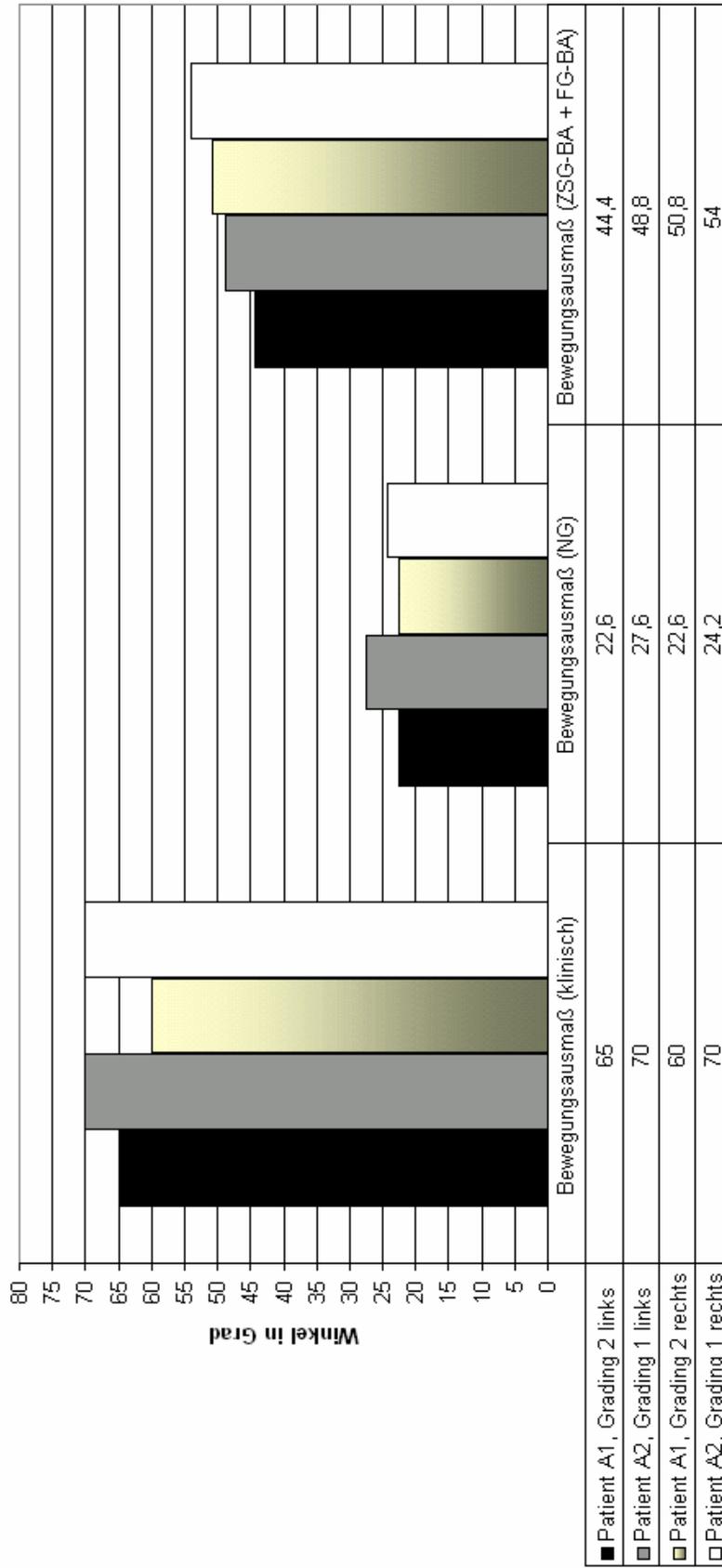
3.5.6 Der Verlauf von Patient F (siehe auch Abb. 3.5-6)

Bei Patient F wurde zu den Zeitpunkten 1 und 2 (9 Monate später) kontinuierlich an beiden Sprunggelenken Grading 4 festgestellt. In der klinischen Untersuchung blieb das passive Bewegungsausmaß jeweils unverändert. Außer einer leichten Verschlechterung der Beweglichkeit im rechten OSG hat sich keine Veränderung gezeigt. Im Normalgang wurde im Verlauf links ein geringerer, rechts ein stärkerer Wertabfall bemerkt. Ein sehr ähnliches Bild – jedoch mit höheren Werten im Beweglichkeitsausmaß – wurde in der aktiven Maximalform beobachtet.

3.5.7 Der Verlauf von Patient G (siehe auch Abb. 3.5-7)

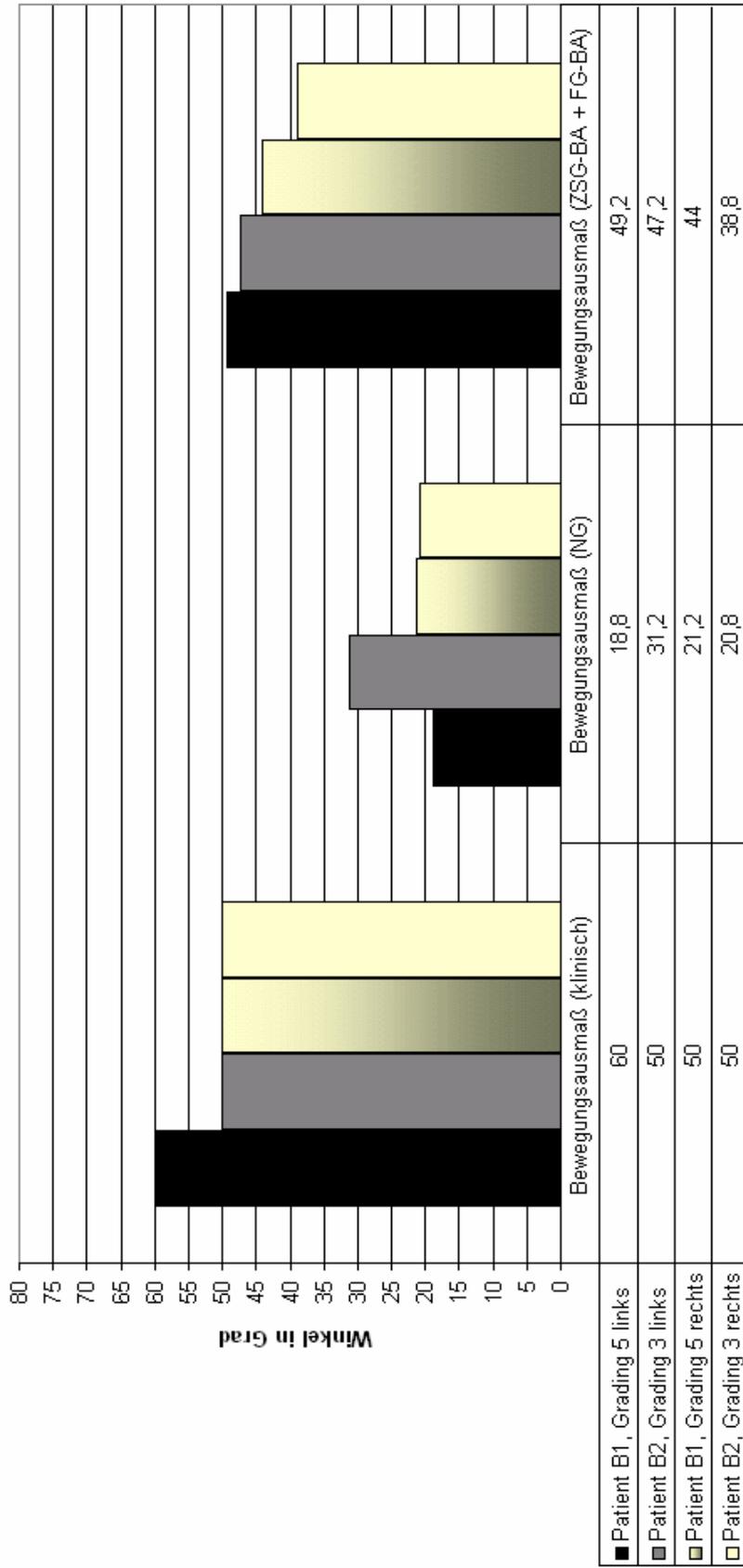
Dieser Patient gehörte zu den Zeitpunkten 1 und 2 (nach 4 ¼ Monaten) dem Grading 0 an. Er zeigte in der klinischen Untersuchung ein hohes Beweglichkeitsausmaß, welches sich im Verlauf nicht änderte. Im Normalgang wurden sowohl zum Zeitpunkt 1 als auch zum Zeitpunkt 2 nahezu gleiche Werte zwischen 30,4 und 33,6 Grad gemessen. In der aktiven Maximalform zeigten sich in der Messung am linken OSG kleinere Werte als am rechten. Außerdem wurden bei beiden Sprunggelenken zum zweiten Zeitpunkt höhere Werte gemessen.

Abb. 3.5-1: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient A zu den Zeitpunkten 1 und 2



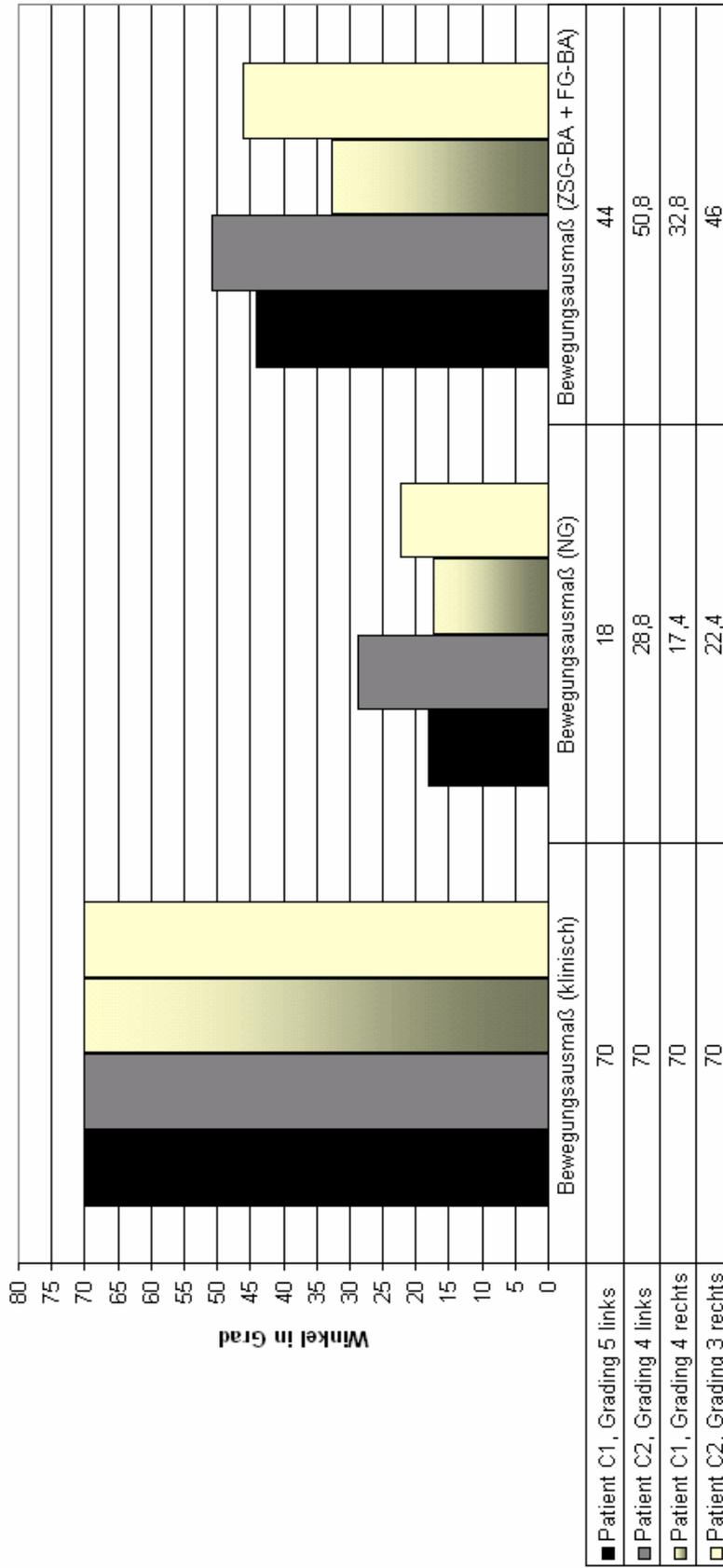
Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen gang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-2: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient B zu den Zeitpunkten 1 und 2



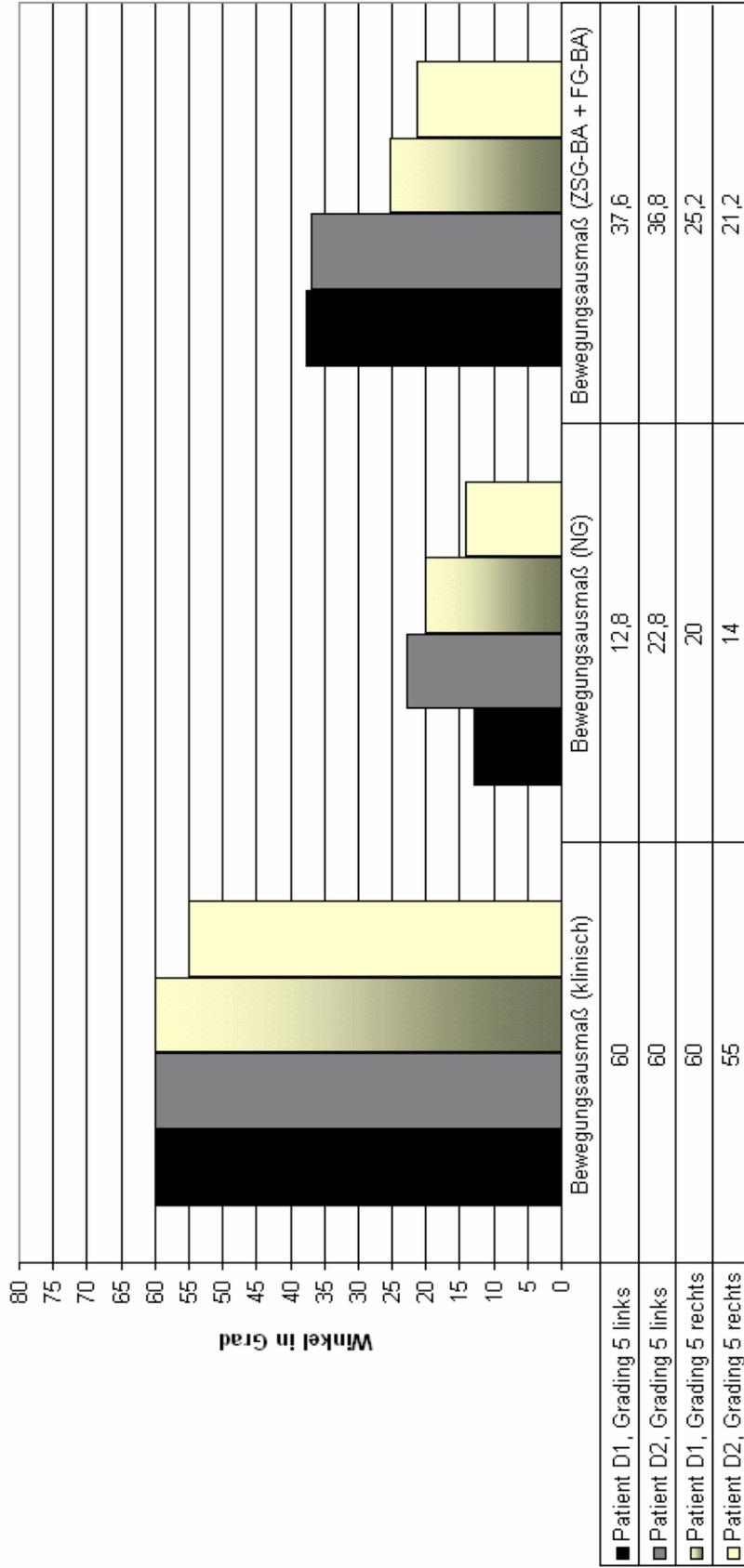
Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen gang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-3: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient C zu den Zeitpunkten 1 und 2



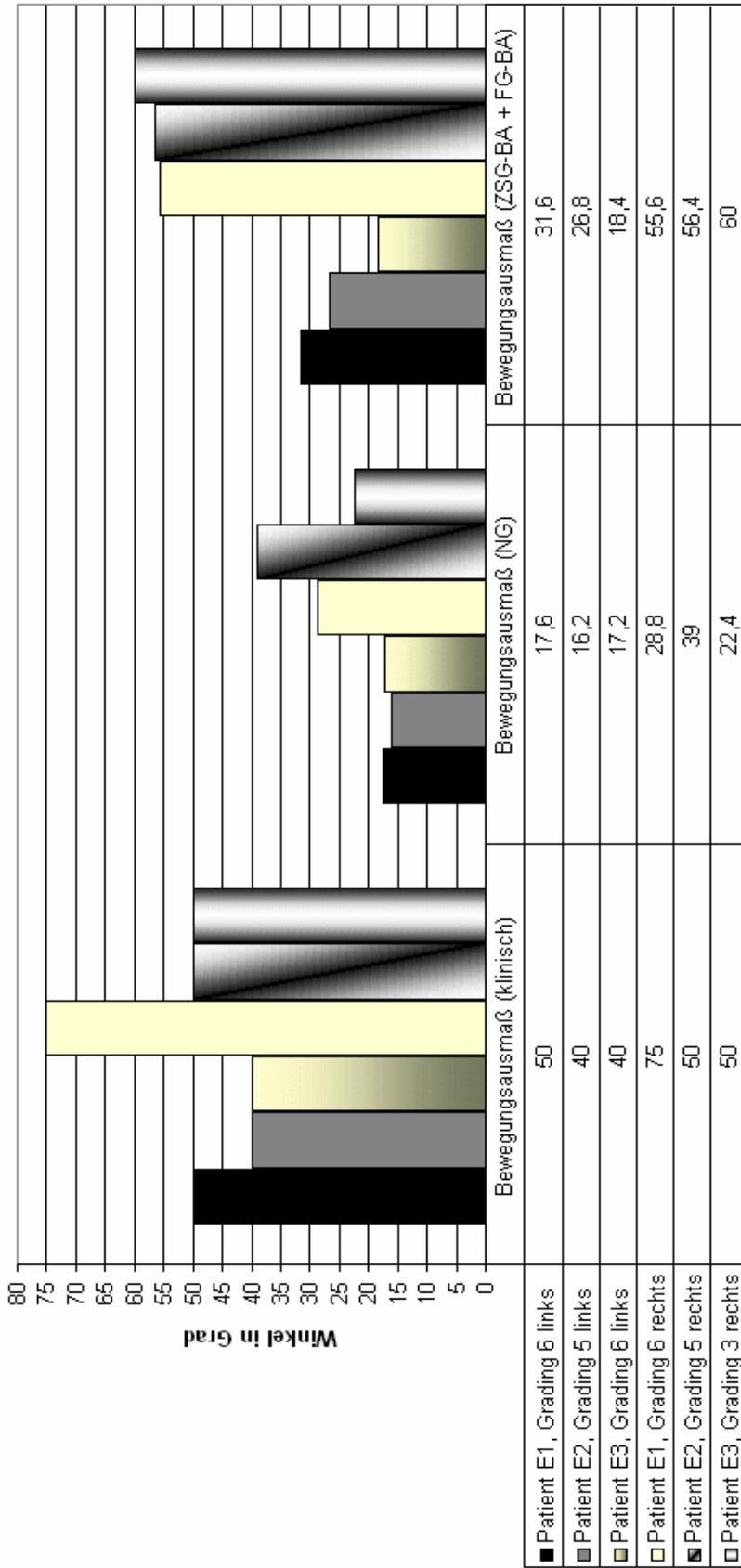
Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-4: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient D zu den Zeitpunkten 1 und 2



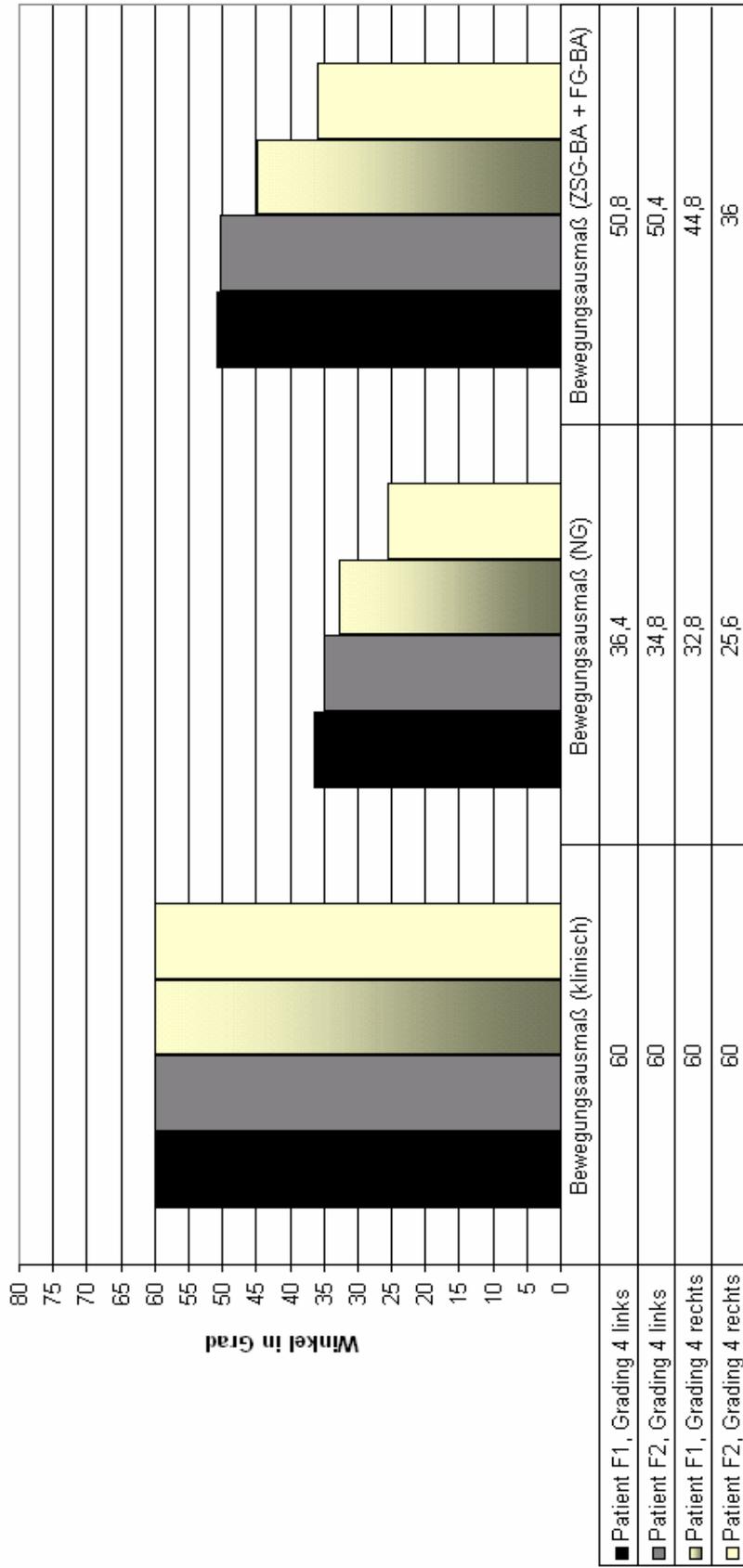
Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-5: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient E zu den Zeitpunkten 1, 2 und 3



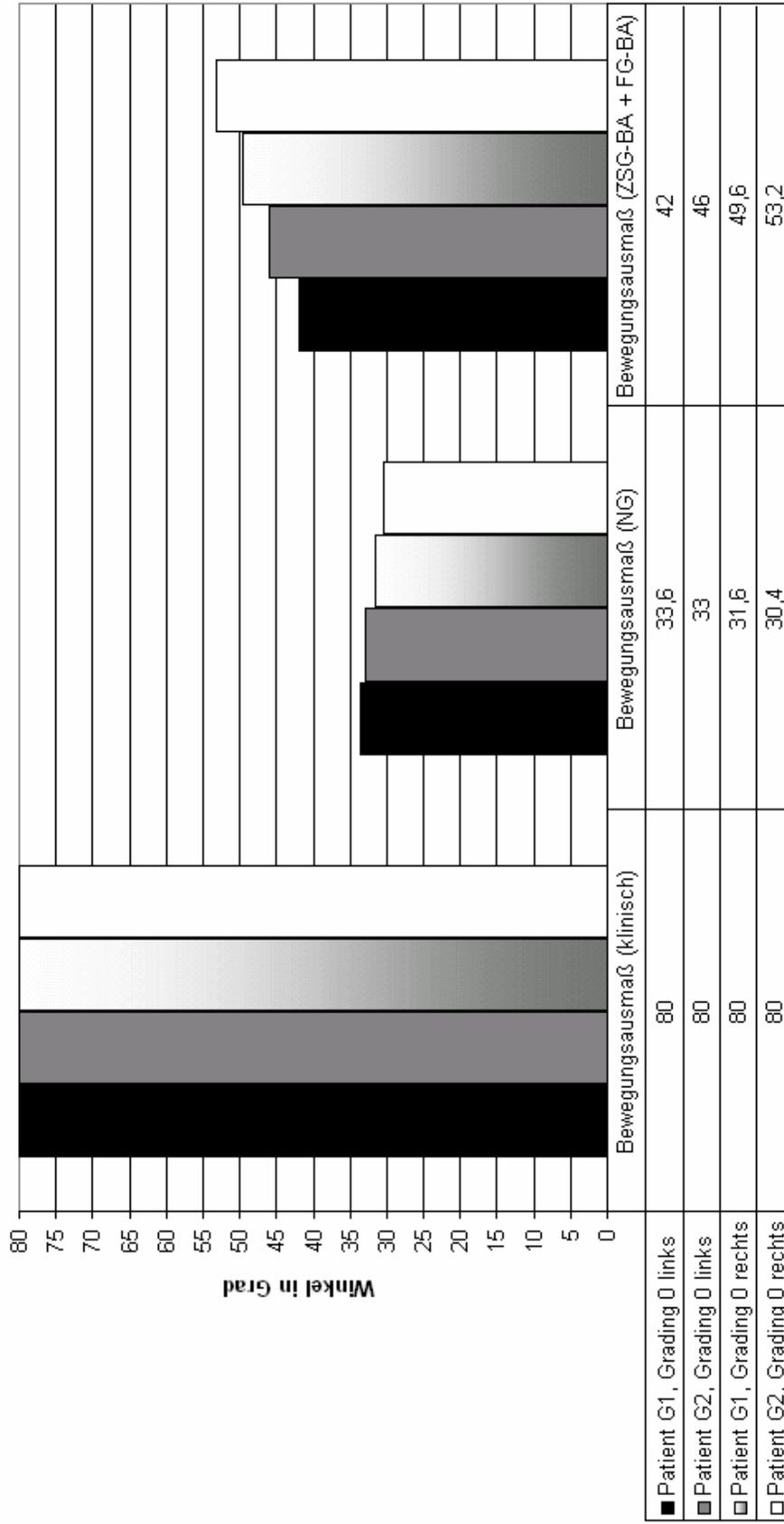
Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-6: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient F zu den Zeitpunkten 1 und 2



Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

Abb. 3.5-7: Vergleich des Bewegungsausmaßes des OSG in der klinischen Untersuchung, im Normalgang und in den addierten Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs bei Patient G (ohne OSG-Beteiligung) zu den Zeitpunkten 1 und 2



Legende: NG (Normalgang), ZSG-BA (Zehenspitzenang bei Abstützung), FG-BA (Fersengang bei Abstützung).

4. Diskussion

4.1 Interpretation der Ergebnisse

4.1.1 Der normale Gang

Zunächst wurde mit unserer Ganganalyse eine initiale Annahme unsererseits widerlegt. Obwohl der Fuß-Boden-Kontakt mit der Ferse beginnt, trafen nahezu alle Patienten in ihrem Sprunggelenk nicht mit einer Dorsalextension, sondern mit einer leichten Plantarflexion auf. Diese Bewegung scheint ein sanfteres Aufkommen zu gewährleisten, welches sich schonender auf Gelenke und Skelett auswirkt. Durch die Plantarflexion trifft mehr Fläche auf den Grund auf, was zur Folge hat, dass auf Boden und Skelett weniger Druck lastet und mehr Weichteilgewebe zur Abfederung beim ersten Fuß-Boden-Kontakt eingesetzt werden kann. Gemäß Dabneys Definition des normalen Ganges wird hierdurch der Energieaufwand effektiv reduziert. Unsere Interpretation wird klinisch dadurch bekräftigt, dass die Mehrheit der Probanden – somit auch der OSG-Nicht-Betroffenen – den bewussten Fersengang, der ausschließlich aus Dorsalextensionen besteht, dorsal am Calcaneus als unangenehm empfand.

4.1.2 Vergleich der Gangarten zwischen den Schweregrad-Gruppen G0, G1-4 und G5-10

Lechner bemerkte in ihrer Studie, dass rheumatisch befallene Gelenke der unteren Extremität eine Abweichung vom normalen Gang hervorrufen ³⁷. Dies konnte durch unsere Ganganalyse am oberen Sprunggelenk bestätigt werden. Im Vergleich zwischen den verschiedenen Schweregrad-Gruppen stellte sich in der Ganganalyse ein deutlicher Unterschied zwischen OSG-Unbetroffenen und Patienten mit starker OSG-Beanspruchung im Rahmen ihrer rheumatischen Erkrankung dar. Patienten mit hohem Grading waren in ihrem Bewegungsverhalten am oberen Sprunggelenk deutlich eingeschränkt. Am auffälligsten war dies in der Plantarflexion des Normalgangs sowie des bewussten Zehenspitzengangs bei Abstützung zu beobachten. Mittels unserer Ganganalyse konnte somit nachgewiesen werden, dass die klinische Symptomatik die aktive Bewe-

gungsform verändert. Patienten mit schwer betroffenem oberem Sprunggelenk führen in diesem Gelenk geringere Bewegungen durch als unbetroffene Probanden. Nachdem insbesondere die Plantarflexion die größten Differenzen zwischen OSG-Unbetroffenen und OSG-Schwer-Betroffenen zeigte – was auch die Studien von Locke ³⁸, Marshall ³⁹ und Lechner ³⁷ belegen – scheint diese Bewegungskomponente im Gangzyklus die anspruchsvollste aktive Bewegung darzustellen. Diese scheint – wie auch Lechner meinte ³⁷ – von rheumatisch stark OSG-Betroffenen durch mehrere Faktoren, wie eine veränderte Gelenkmorphologie, rheumatische Affektionen der benachbarten Muskulatur und Schmerzen, nur noch in stark reduzierter Form durchführbar zu sein und sticht im Vergleich zu den anderen Komponenten somit am eindeutigsten hervor. Auch Dhanendrans Erkenntnisse, dass sich bei rheumatisch erkrankten Kindern das Kräfteverhalten im Bereich des ersten und zweiten Metatarsaleköpfchens ändert, können als Ursache für die veränderte Plantarflexion herangezogen werden ⁴⁰. Locke war der Ansicht, dass eine Reduzierung der Plantarflexion bei rheumatisch erkrankten Erwachsenen auf einem Elastizitäts- und Flexibilitätsverlust des umgebenden Gewebes nach maximaler Dorsalextension beruht ³⁸. Diese These scheint aufgrund unserer Ergebnisse auch für Kinder gültig sein.

In den weniger anspruchsvollen Komponenten FBK und vFBK lassen sich zwar ebenfalls statistisch signifikante, aber wesentlich geringere Unterschiede nachweisen. Im Vergleich zur Plantarflexion ist hier eine eindeutige Einteilung des einzelnen Patienten in die entsprechende OSG-Gruppe in der Praxis nur schwer möglich. Deshalb ist es sinnvoll, sich in der Ganganalyse vor allem auf die Plantarflexion im Normalgang sowie im bewussten Zehenspitzen gang mit der Komponente Zehenspitzen gang bei Abstützung (ZSG-BA) zu konzentrieren, um dadurch einen Hinweis auf das Ausmaß der rheumatologischen Erkrankung des Patienten zu erhalten.

Die aktive Dorsalextension scheint in der Praxis als Unterscheidungskriterium zwischen den verschiedenen Schweregrad-Gruppen von untergeordneter Bedeutung zu sein. Dennoch ist nach unseren Ergebnissen ihre Messung nicht vollständig außer Acht zu lassen, nachdem von uns nachgewiesen werden

konnte, dass sich Patienten mit leichter rheumatischer Sprunggelenksaffektion von Patienten ohne Sprunggelenksbeteiligung in der Dorsalextension statistisch signifikant durch höhere Werte unterscheiden. Hiernach scheint die aktive Dorsalextension erste Hinweise für die milde Ausprägung einer rheumatisch bedingten Sprunggelenkserkrankung zu liefern. Diese Behauptung – statistisch sehr wohl gestützt – sollte jedoch anhand größerer Fallzahlen bestätigt werden. Weitere Erkenntnisse über die Dorsalextension werden im folgenden Unterkapitel erörtert.

4.1.3 Vergleich der Plantarflexion und Dorsalextension zwischen klinischer Untersuchung, Normalgang und den Maximalwerten des Zehenspitzen- und Fersengangs

Im Vergleich zwischen passivem und aktivem Bewegungsausmaß kann unser ganganalytisches Verfahren die Physiologie des Ganges gut wiedergeben. Wie vermutet, ergaben sich bei allen Grading-Gruppen im passiven Bewegungsausmaß höhere Werte als in aktiver Betätigung. Ebenfalls wies das aktiv maximal durchführbare Bewegungsausmaß – bestehend aus den Komponenten Zehenspitzen- und Fersengang bei Abstützung (ZSG-BA) und Fersengang bei Abstützung (FG-BA) – im Vergleich zum Bewegungsausmaß des Normalganges höhere Werte auf. Es konnte auch ein kontinuierlicher Rückgang des Bewegungsausmaßes in Abhängigkeit vom Schweregrad der Sprunggelenksaffektion sowohl passiv als auch aktiv festgestellt werden.

Innerhalb dieser Beweglichkeitsreduktion war aber festzustellen, dass die Plantarflexion mit höherer OSG-Affektion stetig immer stärker abnimmt, wohingegen die Dorsalextension sowohl aktiv als auch passiv mit höherem „Grading“ leicht zunimmt. Auch Lechners Graphik zeigt, dass rheumatisch Erkrankte höhere Werte in der Dorsalextension als Gesunde aufweisen ³⁷.

Man könnte diskutieren, dass es sich hierbei zum einen um einen Ausgleichsmechanismus am Sprunggelenk für die verminderte Plantarflexion handelt. Zum anderen ergaben sich hier neue Erkenntnisse bezüglich des Zustandekommens der OSG-Dorsalextension im aktiven Gang. Im Gegensatz zur Plantarflexion, welche beim Laufen durch aktive Überwindung der Schwerkraft erfolgt, wird die

Dorsalextension im Normalgang und im Fersengang bei Abstützung zu einem großen Teil nicht aktiv im OSG gebildet. Sie wird vielmehr durch das Vorwärtsbewegen des proximalen Unterschenkels bei Knieflexion durchgeführt. Dabei wird die OSG-Dorsalextension durch das Lasten des Körpergewichts auf das OSG noch verstärkt. Man könnte annehmen, dass die Dorsalextension bei OSG-Nicht-Betroffenen durch ein muskuläres Entgegenwirken der Antagonisten der unteren Extremität, welche auch die Plantarflexion fördern, nur in relativ geringer Ausprägung zugelassen wird. Je höher der Schweregrad der OSG-Betroffenen ist, desto weniger scheint die entsprechende antagonistisch-wirkende Muskulatur – einerseits wegen eigener rheumatischer Inanspruchnahme, andererseits durch schmerzbedingte Hemmung – ihre Funktion ausüben zu können und somit eine stärkere Dorsalextension zuzulassen. Locke fand heraus, dass Rheumapatienten ihr Gewicht insbesondere auf die Ferse verlagern³⁸. Diese Erkenntnis und auch Dhandendrans oben genannten Ergebnisse (siehe 4.1.2)⁴⁰ bestätigen die Richtigkeit unserer Daten und Annahmen bezüglich des Wesens einer vermehrten Dorsalextension bei OSG-Betroffenen.

Auch durch die erhöhten Werte der passiven Dorsalextension ist davon auszugehen, dass das Sprunggelenk zusammen mit seinem Bänderapparat und wiederum am Sprunggelenk wirkenden Muskulatur rheumatisch bedingt entsprechende morphologische Veränderungen erfährt, welche die Plantarflexion einschränken, dafür die passive Dorsalextension etwas vermehrt zulassen. Diese Veränderungen können zum Beispiel in einer Ausdünnung und somit geringerer Effizienz der Plantarflexoren oder in einer leichtgradigen Verkürzung der Dorsalextensoren ohne Kontrakturen liegen. Letztere Vermutung liegt nahe, da die Ergebnisse aus Lindehammars Studie eben eine solche Verkürzung von Muskelfasern bei Kindern mit juveniler idiopathischer Arthritis nachwies⁴¹.

Bei stark betroffenem OSG wurden die Winkel der Dorsalextension sowohl bei der passiven Untersuchung als auch während der unterschiedlichen Gangarten größer als in den Vergleichsgruppen. Bemerkenswert ist jedoch, dass der Dorsalextensionswinkel bei der klinischen Untersuchung noch wesentlich stärker zunahm als während des Gehens. Dieses Phänomen scheint auf die oben an-

gesprochenen Veränderungen in Muskulatur, Bandapparat und Gelenk zurückgeführt werden zu müssen.

Weiterhin fiel auf, dass Probanden ohne klinische OSG-Affektion ihre passiv ermittelten Bewegungsausmaßkapazitäten nicht in dem Maße ausschöpften, wie es bei OSG-Betroffenen mit leichter beziehungsweise schwerer Ausprägung der Fall war.

Das Verhalten der Versuchspersonen ohne Sprunggelenksleiden kann wieder mit Dabneys Definition über den normalen Gang einleuchtend begründet werden. Trotz intakter Anatomie und Funktion des Bewegungsapparates, ist der Körper dennoch bemüht, im Alltag einen effektiven und zugleich ökonomischen und somit „physiologischen“ Gang zu entwickeln²⁶.

Die beiden Gruppen mit leichter beziehungsweise schwerer OSG-Affektion sind in ihrem passiven Bewegungsausmaß entsprechend stärker eingeschränkt. Hierbei wurde festgestellt, dass die aktiv maximal durchführbaren Werte der Plantarflexion im Zehenspitzen gang sich im Durchschnitt deutlich den passiv ermittelten Werten annäherten. In diesen beiden Gruppen wird somit viel stärker die noch zur Verfügung stehende passive Beweglichkeit ausgenutzt, um unter größeren Belastungen eine noch möglichst effektive Plantarflexion zustande zu bringen.

Im Normalgang wurden in der Plantarflexion in beiden Gruppen mit OSG-Beteiligung jedoch wesentlich geringere Werte als im Zehenspitzen gang festgestellt. Die Vermutung, dass dieses Patientengut zu einer stärkeren Plantarflexion nicht in der Lage ist, konnte durch die höheren Werte im Zehenspitzen gang widerlegt werden. Dennoch scheint dieses Potential im Normalgang nicht ausgeschöpft zu werden, so dass keine Plantarflexion erfolgt, die den Wert einer Plantarflexion von OSG-Nicht-Betroffenen erreicht. Wir gehen davon aus, dass es entzündungs- und schmerzbedingt zu einer funktionellen Einsteifung des oberen Sprunggelenks kommt, welche vor allem die aktive Bewegung einschränkt.

Zum einen scheint bei OSG-Betroffenen eine physiologische Plantarflexion auf längere Zeit vermutlich zuviel Energie zu beanspruchen, vor allem wenn das Gelenk schon eine rheumatisch bedingte Deformation oder Fehlstellung erfah-

ren hat, welche die Durchführung einer stärkeren Plantarflexion zwar nicht unmöglich macht, aber dennoch deutlich erschwert. Die resultierende Fehlhaltung mag die Beweglichkeitspathologie in einer Art Teufelskreis weiter verstärken.

Zum anderen scheint der Organismus bemüht zu sein, das rheumatisch gezeichnete Gelenk sowie das umgebende Weichteilgewebe durch eine geringere Plantarflexion im Normalgang auf diese Art zu schonen. Das noch vorhandene Potential wird somit nur bei besonderen Leistungsansprüchen wie beispielsweise in Situationen, die einen Zehenspitzenang abverlangen, kurzfristig ausgeschöpft.

Zusätzlich könnte eine in physiologischem Rahmen genutzte Plantarflexion bei Rheumatikern aufgrund der höheren OSG-Beanspruchung weitere Entzündungsprozesse durch Überbeanspruchung auslösen und folglich vermehrt Ergüsse und Schmerzen hervorrufen. Diese scheint der Patient durch Inkaufnahme einer geringeren Plantarflexion bewusst und unbewusst zu vermeiden. Auch Lechner ist der Ansicht, dass hierdurch ein verändertes Gangbild zustande kommt ³⁷.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die These aufgestellt, dass für Plantarflexion und Dorsalextension Dabneys Definition bei rheumatisch gezeichneten Gelenken in leicht abgeänderter Form weiterhin gelten kann: Unter anderen, nämlich erschwerten Rahmenbedingungen, wird ein Gangbild angestrebt, in dem der minimal anvisierte Energieaufwand einer ausreichend effizienten Bewegung übergeordnet ist.

Diese passiven und aktiven Beweglichkeitsveränderungen des Sprunggelenks können, wie erläutert und durch fremde Studien untermauert, auf unterschiedlichen Ursachen beruhen. Inwieweit welche Ursache eine über- beziehungsweise untergeordnete Rolle spielt, sollte jedoch in weiteren Untersuchungen durch bildgebende Verfahren (Sonographie, Röntgendiagnostik) sowie neurologische Tests (Elektromyogramm) geklärt werden. Es ist auf Grund der insgesamt begrenzten Fallzahl jedoch nicht auszuschließen, dass auch zufällig bei schwerer OSG-Erkrankten eine vermehrte Dorsalextension dokumentierbar war.

4.1.4 Vergleich der Patienten im Verlauf

In der Verlaufsbeobachtung von sechs am Sprunggelenk rheumatisch erkrankten Patienten und einem Patienten ohne Sprunggelenksbeteiligung zu unterschiedlichen Zeitpunkten konnten durch den Vergleich des OSG-Bewegungsausmaßes zwischen klinischer Untersuchung und Ganganalyse mit Berücksichtigung des Gradings weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Wie bereits erläutert, setzt sich das Grading aus mehreren klinischen Komponenten (Bewegungseinschränkung des Gelenks, Schmerzen, Erguss im OSG, Weichteilschwellung des umgebenden Gewebes und Deformität/Fehlstellung) zusammen. Diese können im Verlauf stärker oder schwächer ausgeprägt vorhanden sein. Die Zahl des Gradings – als Maß der klinischen Gesamtpräsentation – kann sich hierdurch wie bei Patient A, B, C und E ändern oder trotz Veränderung der klinischen Komponenten wie bei Patient D und F konstant bleiben. So bewirken beispielsweise ein Nachlassen der Schmerzsymptomatik um eine Stufe und eine Deformitätszunahme um einen Punkt keine Veränderung der Gradingzahl.

In der klinischen Untersuchung schienen sich nicht alle berücksichtigten klinischen Kriterien, welche das Grading bestimmten (siehe Kapitel 2.1), auszuwirken. Vornehmlich hatten das passiv ermittelte Beweglichkeitsausmaß, welches für das Grading herangezogen wurde, und eine bestehende Deformität oder Fehlstellung im OSG hierbei den größten Einfluss. In der passiven Bewegung des OSG schien die Komponente Schmerz eine geringere Einflussgröße als im aktiven Gang zu sein. Die klinische Untersuchung weist naturgemäß in der Bestimmung von „Beweglichkeitswinkeln“ eine begrenzte Präzision auf. Bei Patient E bestand der Eindruck einer größeren Beweglichkeitsreduktion, welche in der Ganganalyse in diesem Ausmaß nicht bestätigt werden konnte. Die klinische Untersuchung ist somit nicht immer sehr genau im physikalischen Sinne, sondern mehr ein orientierendes Messverfahren, welches größere Beweglichkeitsveränderungen erfassen kann. Rheumatisch bedingte Effekte größeren Ausmaßes, welche sich vornehmlich auf die Gelenkmorphologie auswirken und das passive Beweglichkeitsausmaß beeinflussen, können hiermit festgestellt werden. Es bleibt aber natürlich die Frage offen, inwieweit der Patient in

seinem Alltag, also in seinem Gang, durch die rheumatische Affektion seines Sprunggelenks bei aktiver Durchbewegung eingeschränkt wird. Auch Grebing wies darauf hin, dass sich die Werte zwischen manueller Untersuchung und externen Untersuchungsmethoden unterscheiden können ⁴².

Die Winkelwerte des Gangverhaltens des einzelnen Patienten ließen sich nicht zwischen Probanden mit Grading 0 und Patienten mit Grading 1-4 unterscheiden. Sehr wohl aber konnten die Fälle der Probanden der Grading-Gruppe 5-10 von den anderen beiden Gruppen als signifikant different abgegrenzt werden. Auch Witemeyer kam in seiner Studie zu dem Ergebnis, dass lediglich schwergradig erkrankte Rheumapatienten von leicht beziehungsweise nicht Betroffenen unterschieden werden können ⁴³. Bei den ganganalytisch ermittelten Werten der einzelnen Patienten müssen wir aber auch feststellen, dass im Verlauf feine Nuancen bei Grading-Änderungen in der Ganganalyse nicht zu bemerken sind. Mit den Werten von Dorsalextension und Plantarflexion in Normalgang, Zehenspitzen- und Fersengang können keine Aussagen über den Verlauf gemacht werden, da trotz Grading-Herabstufung die Winkelwerte bei dem einzelnen Patienten nicht zwingend korrelieren. Man kann davon ausgehen, dass das Gangbild zwar mehr über den Einfluss der einzelnen Komponenten auszusagen vermag als die klinische Untersuchung, die Werte der Ganganalyse aber von mehr als nur den im Grading vorkommenden Faktoren – wie beispielsweise auch Entwicklungsprozessen mit zunehmenden Alter während der Verlaufskontrolle, welche in der Ganganalyse nicht registrierbar waren, aber laut der Studie von Preis eine Veränderung des Gangbildes hervorrufen ²⁵ – beruhen, und somit unsere Ganganalyse aktuell nur schwer für die Verlaufskontrolle im klinischen Alltag zu verwenden ist. Es konnte nicht geklärt werden, welche bestimmten Komponenten grundsätzlich mehr Auswirkungen auf das Gangbild haben oder ob beim einzelnen Patienten eine ganz individuell gestaltete Einfluss-Verteilung besteht, wie Stolze herausfand ⁴⁴.

4.1.5 Vergleich des Gangbildes in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter

Bei weiterer Betrachtung der Ganganalyse als Verfahren, das Gangbild des oberen Sprunggelenks in seiner Physiologie zu erkunden, haben wir des weiteren folgende Erkenntnisse gewinnen können:

In der forensischen Studie von Lynnerup wurde nachgewiesen, dass das Gangbild des Menschen individuelle Merkmale aufweist ²⁴. In unserer Ganganalyse konnten Trends für ein geschlechtsspezifisches Gangverhalten bei Probanden ohne Sprunggelenksbeteiligung beobachtet werden. Der größte Unterschied wurde wieder in der Plantarflexion festgestellt. Sowohl im Normalgang als auch in der Komponente Zehenspitzenangang bei Abstützung (ZSG-BA) können Mädchen ihr oberes Sprunggelenk einer stärkeren Plantarflexion unterziehen als Jungen. Weder die weibliche noch die männliche Versuchsgruppe wies vermehrt Probanden höheren beziehungsweise niedrigeren Alters auf. Einerseits kann man annehmen, dass Mädchen beim Filmen ihres Gangbildes möglicherweise aus diversen Motivationsgründen kooperationsbereiter und mehr bemüht sind, ihre Bewegungsabläufe bewusster durchzuführen als Jungs. Andererseits scheint ebenfalls die von Israel beschriebene Tatsache, dass das weibliche Geschlecht allgemein eine größere Gelenkbeweglichkeit im Vergleich zum männlichen aufweist, Einfluss auf das Ergebnis der Ganganalyse gehabt zu haben ⁴⁵. In der Dorsalextension konnten keine Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen festgestellt werden, womit Saxenas Erkenntnisse einer geschlechtsunspezifischen Dorsalextension ohne OSG-Affektion hiermit bestätigt werden konnten ³⁵.

Sobald aber schon leichte pathologische beziehungsweise rheumatisch bedingte Veränderungen am Sprunggelenk vorlagen, war der geschlechtsspezifische Gang nicht mehr dar- und feststellbar. Mädchen und Jungen reagieren demnach bei rheumatisch bedingter Sprunggelenksbeteiligung, bestimmt von Schmerzen, Deformität und/ oder Muskelbeeinträchtigung, nicht geschlechtsspezifisch. Die Vermutung, dass Mädchen mit rheumatisch beeinträchtigten Sprunggelenken eventuell strategisch anders laufen als Jungen, kann dadurch widerlegt werden. Das Gangbild der OSG-Betroffenen scheint folglich vor allem

vom Ausprägungsgrad ihrer rheumatischen Erkrankung am Sprunggelenk bestimmt.

Mit der Frage, wann Kinder ein reifes Gangbild aufweisen, haben sich bereits andere Studien beschäftigt. Sutherland²⁸, Stolze⁴⁴, Beck⁴⁶ und Hennessy⁴⁷ meinten, dass Kinder im Alter von bereits vier bis sechs Jahren mit einem reifen Gangbild ausgestattet sind, weshalb wir in unserer Studie ausschließlich Kinder mit vollendetem sechsten Lebensjahr aufnahmen. Ganley fand hingegen heraus, dass in diesem Alter die neuromuskuläre Entwicklung noch nicht vollendet und somit auch noch kein reifes Gangbild vorhanden sei²⁹. In unserer Studie konnten wir bei Probanden ohne OSG-Beteiligung den Trend eines altersabhängigen Gangverhaltens feststellen. Kinder bis zu 10 Jahren wiesen ein anderes Gangbild auf als Kinder über 10 Jahren. Die ältere Probandengruppe zeigte im Normalgang mit den Komponenten Fuß-Boden-Kontakt (FBK), vordem-Fuß-Boden-Kontakt (vFBK), Plantarflexion sowie im Fersengang mit der Komponente Fersengang bei Abstützung (FG-BA) durchgehend höhere Werte im Vergleich zu der jüngeren Versuchsgruppe. Hierfür können mehrere Ursachen in Betracht gezogen werden.

Zum einen verhalten sich jüngere Patienten in nicht alltäglichen Situationen, wie es bei einer Ganganalyse der Fall ist, trotz Anwesenheit der Eltern oft noch unsicherer als ältere, und tun sich schwerer, Anweisungen seitens des Versuchsleiters umzusetzen. Ältere Kinder sind hierbei bezüglich der Umgebung flexibler, sicherer, souveräner, auffassungsfähiger und kooperativer.

Zum anderen ist das Körperwachstum insbesondere in der jüngeren Gruppe noch nicht beendet. Hierbei kommt es auch in der unteren Extremität zu Proportionsverschiebungen, welche sich ebenfalls auf die Bewegung im oberen Sprunggelenk auswirken.

Des Weiteren scheint in höherem Kindesalter der Muskelapparat besser ausgebildet und trainiert zu sein, weshalb neben den oben genannten anderen Komponenten insbesondere die Plantarflexion eine stärkere Ausprägung erfährt. Das heißt, dass Ganleys Feststellung der noch nicht vollständig ausgereiften neuromuskulären Entwicklung bei Siebenjährigen nicht die einzige Rolle spielt.

Entgegen der Auffassung von Sutherland, Beck, Hennessy und Stolze wird aufgrund der gefundenen Daten behauptet, dass es schwierig ist, einen reifen Gang exakt zu definieren und ihn auf ein bestimmtes Alter festzulegen. Stattdessen wird die Ansicht vertreten, dass sich eine durchgehende Dynamik im Gangbild von Kindern und allgemein des Menschen findet, nachdem Begg dazu noch herausfand, dass Erwachsene höheren Alters wieder ein anderes Gangbild aufweisen als jüngere Erwachsene³⁰. Es kann lediglich ein Vergleich einer bestimmten Altersgruppe mit einer anderen angestellt werden.

Die hier ermittelten Daten konnten ein altersspezifisches Gangverhalten aber nur bei klinischer Unversehrtheit des oberen Sprunggelenks feststellen. Schon bei geringer OSG-Beteiligung wurde der altersentsprechende Gang des Patienten ähnlich wie der geschlechtsspezifische Gang maskiert. Das Gangbild wird demnach vom Schweregrad der OSG-Affektion geprägt. Sowohl jüngere als auch ältere Kinder scheinen auf ihre Sprunggelenksaffektion in ähnlicher Weise zu reagieren. Die These, dass das Gangbild bei rheumatischer OSG-Beteiligung altersabhängig von einem entsprechendem Verhaltensmuster beeinflusst wird, kann nicht aufrecht gehalten werden.

4.2. Beurteilung unserer Ganganalyse

Unsere Untersuchung hat gezeigt, dass die Werte der Ganganalyse möglicherweise neben den oben genannten klinischen Komponenten von weiteren Faktoren wie beispielsweise der Tagesform des Probanden abhängen. Das Phänomen der intraindividuellen Variabilität bei Kindern hat auch schon Stolze beschrieben ⁴⁴. Die Ergebnisse des im Verlauf zweimal gefilmten Patienten G, der keine OSG-Beteiligung aufwies, aber sichtbare Unterschiede im Gangverhalten zu den zwei Zeitpunkten aufwies, machten das deutlich. So kann ein Patient beispielsweise zum ersten Zeitpunkt ausgeschlafener sein oder weniger Schulstress haben als zu einem späteren Vorstellungstermin und je nachdem mehr oder weniger Energie für sein Gangbild verwenden.

Insofern ist unsere Ganganalyse im allgemeinen zunächst noch nicht für den klinischen Alltag tauglich.

Dennoch konnte unser Verfahren verschiedene interessante Erkenntnisse über das Gangbild im Sprunggelenk in den drei verschiedenen Probandengruppen hervorbringen. Wie auch in den Studien von Lechner ³⁷ und Locke ³⁸ zeigte sich hier, dass im Gangbild die Plantarflexion und Dorsalextension die größten Informationen über den klinischen Zustand des Patienten lieferten. In folgenden Projekten sollte weiterhin das Augenmerk auf diese beiden Komponenten gerichtet werden, wohingegen alle anderen vernachlässigt werden können. Der Profit des Patienten besteht unter anderem darin, dass die verschiedenen klinischen Komponenten am Sprunggelenk durch eine Ganganalyse in ihrer wirklich relevanten Auswirkung auf das Gehen im Alltag dargestellt werden kann. Letztlich kann somit herausgefunden werden, inwieweit der Patient eingeschränkt ist, und ob entsprechende Therapieverfahren mit Einfluss auf die Komponenten Erfolg gezeigt haben oder nicht. Die zunächst anamnestisch ermittelte Schmerzsymptomatik kann hierdurch in entsprechendem Maße objektiviert werden.

Außerdem haben die auffälligen Werte von Dorsalextension und Plantarflexion wichtige Informationen für die weiterführende Therapie geliefert. Diese kann nun neben den Medikamenten gezielt durch physiotherapeutische Maßnahmen

– deren Bedeutung in der Kinderrheumatologie schon Lechner betonte ³⁷ – ergänzt werden, die unter anderem die antagonistische Muskulatur aufbaut und die Agonisten dehnt.

Wie auch bereits Preis in ihrer Arbeit kritisierte, war der zeitliche Aufwand der Auswertung der Daten im Verhältnis zum Nutzen hoch ²⁵. Auch eine zeitlich effektivere, computergestützte Auswertung, wie Hailey sie fordert und als vielversprechend ansieht ¹⁵, ist aufgrund des Kostenfaktors für den klinischen Alltag in Frage zu stellen. Dennoch wäre eine Vereinheitlichung der Ganganalyse im Bereich der Kinderrheumatologie äußerst wichtig, um bei internationaler Kooperation verlässlichere Aussagen und weitere Erkenntnisse über das rheumatologische Gangbild allgemein sowie das Gangbild der verschiedenen rheumatischen Subgruppen zu erhalten. Nachdem dies bislang nicht der Fall ist, können die gewonnen Untersuchungsergebnisse leider nicht mit bestehenden Daten verglichen werden.

Auch Lechner bedauerte diesen Zustand ³⁷. Eine derartige Datenbank wäre wünschenswert und würde die Aussagekraft von Ganganalysen in der Kinderrheumatologie aufgrund der höheren Fallzahl deutlich verbessern.

5. Zusammenfassung

Ziel unserer Arbeit war es, von Rheuma betroffene Kinder und Jugendliche auf Veränderungen in ihrem Gangbild zu untersuchen. Wir benutzten hierzu ein mobiles Stativ und eine digitale Videokamera. Nach dem Filmen des Ganges der Probanden wurden für die Ganganalyse bestimmte Winkel des oberen Sprunggelenkes beim Normalgang, beim Zehenspitzen- und beim Fersengang mit dem Goniometer an einem Wiedergabegerät ausgemessen. Die Probanden wurden nach Schweregrad des Rheumas anhand der Ergebnisse der klinischen Untersuchung, nach Geschlecht und nach Alter in verschiedene Gruppen sortiert und untereinander verglichen. Als wichtigstes Ergebnis wurde herausgefunden, dass Patienten mit rheumatologisch affektiertem oberem Sprunggelenk in Abhängigkeit ihres Schweregrades hauptsächlich in der Plantarflexion statistisch signifikant geringere Winkelwerte aufweisen als Patienten ohne Sprunggelenksbeteiligung. Dahingegen steigt mit stärkerer Betroffenheit des oberen Sprunggelenkes das Ausmaß der Dorsalextension sowohl passiv als auch aktiv deutlich an, wofür viele Faktoren wie unter anderem morphologische und strukturelle Veränderungen von Sprunggelenk, Bandapparat und Muskulatur verantwortlich gemacht werden.

Des Weiteren wurden Trends für ein geschlechts- und altersspezifisches Gangbild – allerdings nur bei Patienten ohne Sprunggelenksaffektion – erkannt. Bei Patienten mit rheumatologisch betroffenem Sprunggelenk wurden diese Unterschiede maskiert. Das Ziel, die Ganganalyse zur Verlaufskontrolle einzelner Rheumapatienten dauerhaft nutzen zu können, musste aufgegeben werden. Da noch keine international einheitliche Methode zur Ganganalyse in der Kinderreumatologie besteht, ist die Einordnung einzelner Patienten durch die Ergebnisse einer Ganganalyse in einen Schweregrad-Bereich aufgrund unserer zu geringen Fallzahl noch zu unzuverlässig. Die Methode unserer Ganganalyse war zwar noch etwas zeitaufwändig, aber mit einfachen Mitteln durchführbar und erscheint uns geeignet, um als Grundlage einer internationalen Ganganalyse im kinderrheumatologischen Bereich zu dienen.

6. Literaturverzeichnis

1. W Miehle. Entzündliches Gelenkrheuma: Rheumamed-Verlag, Samerberg, 2001:13-14.
2. KL Schmidt, K Tillmann, H Truckenbrost. Checkliste Rheumatologie: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2000.
3. G Ganser, F Zepp, N Wagner. Juvenile rheumatoide Arthritis. In: MJ Lentze, J Schaub, FJ Schulte, J Spranger, ed. Pädiatrie. Grundlagen und Praxis.: Springer Verlag, Berlin, 2003:633-646.
4. CW Fink and the Task Force for Classification Criteria. Proposal for the development of classification criteria for idiopathic arthritides of childhood. *Journal of Rheumatology* 1995; 22:1566-1569.
5. RE Petty, TR Southwood, J Baum, E Bhattay, DN Glass, P Manners, J Maldonado-Cocco, M Suarez-Almazor, J Orozco-Alcala, AM Prieur. Revision of the Proposed Classification Criteria for Juvenile Idiopathic Arthritis: Durban, 1997. *The Journal of Rheumatology* 1998; 25:1991-1994.
6. H Lippert. Lehrbuch Anatomie: Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1996:717-718.
7. IP Kelly, A Jenkinson, M Stephens, T O'Brien. The Kinematic Patterns of Toe-Walkers. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1997; 17:478-480.
8. M Will, M Häußler, HM Straßburg, M Naumann. Einfache videogestützte Ganganalyse beim spastischen Spitzfuß. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 2002; 150:316-323.
9. LA Koman, JF Mooney, BP Smith, F Walker, JM Leon. Botulinum toxin type A neuromuscular blockade in the treatment of lower extremity spasticity in cerebral palsy: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. BOTOX Study Group. 2000.
10. C Graubert, KM Song, JF McLaughlin, KF Bjornson. Changes in Gait in 1 Year Post-Selective Dorsal Rhizotomy: Results of a Prospective Randomized Study. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2000; 20:496-500.

11. L Wiedmer, T Langer, O Knusel. Gait pattern of patients with hip arthritis. *Orthopäde* 1992; 21:35-40.
12. JL Astephen, KJ Deluzio. Changes in frontal plane dynamics and the loading response phase of the gait cycle are characteristic of severe knee osteoarthritis application of a multidimensional analysis technique. *Clinical biomechanics* 2005; 20:209-217.
13. EH Lee, JC Goh, K Bose. Value of gait analysis in the assessment of surgery in cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1992; 73:642-646.
14. JR Gage, D Fabian, R Hicks, S Tashman. Pre- and postoperative gait analyses in patients with spastic diplegia: A preliminary report. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1984; 4:715-725.
15. D Hailey, JA Tomie. An assessment of gait analysis in the rehabilitation of children with walking difficulties. *Disability and Rehabilitation* 2000; 22:275-280.
16. VL Chester, EN Biden, M Tingley. Gait analysis. *Biomedical instrumentation & technology / Association for the Advancement of Medical Instrumentation* 2005; 39:64-74.
17. CM Tylkowski, VL Howell. Crouch gait in cerebral palsy. *International Pediatrics* 1991; 6:153-160.
18. JD Thomson, S Ounpuu, RB Davis, PA DeLuca. The Effects of Ankle-Foot Orthoses on the Ankle and Knee in Persons with Myelomeningocele: An Evaluation Using Three-Dimensional Gait Analysis. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1999; 19:27-33.
19. LA Karol, MC Concha, CE Johnston. Gait Analysis and Muscle Strength in Children with Surgically Treated Clubfeet. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1997; 17:790-795.
20. KH Kristen, J Kastner, S Holzreiter, P Wagner, A Engel. Funktionelle Beurteilung von Kinderschuh anhand der Ganganalyse von Kindern im Laufflernalter. *Z. Orthop.* 1988; 136:457-462.

21. H Kawakami, N Sugano, K Yonenobu, H Yoshikawa, T Ochi, A Hattori, N Suzuki. Gait analysis system for assessment of dynamic loading axis of the knee. *Gait & posture* 2005; 21:125-130.
22. F Dierick, M Penta, D Renaut, C Detrembleur. A force measuring treadmill in clinical gait analysis. *Gait & posture* 2004; 20:299-303.
23. ES Park, CI Park, JY Kim. Comparison of Anterior and Posterior Walkers with Respect to Gait Parameters and Energy Expenditure of Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy. *Yonsei Medical Journal* 2001; 42:180-184.
24. N Lynnerup, J Vedel. Person identification by gait analysis and photogrammetry. *Journal of forensic sciences* 2005; 50:112-118.
25. S Preis, A Klemms, K Müller. Gait analysis by measuring ground reaction forces in children: changes to an adaptive gait pattern between the ages of one and five years. *Developmental Medicine & Child Neurology* 1997; 39:228-233.
26. KW Dabney, G Lipton. Evaluation of limp in children. *Current Opinion in Pediatrics* 1995; 7:88-94.
27. P Salenius, E Vankka. The development of the tibiofemoral angle in children. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1975; 57 A:259-261.
28. DH Sutherland, RA Olshen, EN Biden, MP Wyatt. The development of mature walking. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1980; 62:336-353.
29. KJ Ganley, CM Powers. Gait kinematics and kinetics of 7-year-old children: a comparison to adults using age-specific anthropometric data. *Gait & posture* 2005; 21:141-145.
30. RK Begg, M Palaniswami, B Owen. Support vector machines for automated gait classification. *Institution of Electrical Engineers E Xplore transactions on bio-medical engineering* 2005; 52:828-838.
31. CM Duffy, AE Hill, AP Cosgrove, IS Corry, RAB Mollan, HK Graham. Three-Dimensional Gait Analysis in Spina Bifida. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 1996; 16:786-791.

32. D Oeffinger, B Brauch, S Cranfill, C Hisle, C Wynn, R Hicks, S Augsburger. Comparison of gait with and without shoes in children. *Gait and Posture* 1999; 9:95-100.
33. CS Ho, CJ Lin, YL Chou, FC Su, SC Lin. Foot progression angle and ankle joint complex in preschool children. *Clinical Biomechanics* 2000; 15:271-277.
34. G Steinwender, V Saraph, S Schreiber, EB Zwick, C Uitz, K Hackl. Intra-subject repeatability of gait analysis data in normal and spastic children. *Clinical Biomechanics* 2000; 15:134-139.
35. A Saxena, W Kim. Ankle dorsiflexion in adolescent athletes. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 2003; 93:312-314.
36. FU Niethard, J Pfeil. *Orthopädie: Hippokrates-Verlag, Stuttgart, 1997:30-35.*
37. DE Lechner, CF McCarthy, MK Holden. Gait Deviations in Patients with Juvenile Rheumatoid Arthritis. *Physical Therapy* 1987; 67:1335-1341.
38. M Locke, J Perry, J Campbell, L Thomas. Ankle and subtalar motion during gait in arthritic patients. *Physical Therapy* 1984; 64:504-509.
39. RN Marshall, DB Myers, DG Palmer. Disturbance of gait due to rheumatoid disease. *Journal of Rheumatology* 1980; 7:617-623.
40. M Dhanendran, WC Hutton, L Klenerman, S Witemeyer, BM Ansell. Foot function in juvenile chronic arthritis. *Rheumatology and Rehabilitation* 1980; 19:20-24.
41. H Lindehammar, B Lindvall. Muscle involvement in juvenile idiopathic arthritis. *Rheumatology* 2004; 43:1546-1554.
42. BR Grebing, MJ Coughlin. The effect of ankle position on the exam for first ray mobility. *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society (and) Swiss Foot and Ankle Society* 2004; 25:467-475.
43. S Witemeyer, BM Ansell, A Ashburn, J Wall, L Klenerman. Gait analysis: a pilot study- a possible mode of assessment of lower limb function in juvenile chronic arthritis. *Rheumatology and Rehabilitation* 1981; 20:31-37.

44. H Stolze, JP Kutzt-Buschbeck, C Mondwurf, A Boczek-Funcke, K Jöhnk, G Deuschl, M Illert. Gait analysis during treadmill and overground locomotion in children and adults. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 1997; 105:490-497.
45. S Israel. Die organismischen Grundlagen der gesellschaftsspezifischen sportlichen Leistungsfähigkeit. *Medizin und Sport* 1979; 19:194-205.
46. RJ Beck, TP Andriacchi, KN Kuo, RW Fermier, JO Galante. Changes in the gait patterns of growing children. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 1981; 63:1452-1457.
47. MJ Hennessy, SD Dixon, SR Simon. The development of gait: A study in African children ages one to five. *Child Development* 1984; 55:844-853.

Danksagung

Herrn Professor Dr. med. Hermann Girschick möchte ich für die Bereitstellung dieses interessanten Themas und für die Übernahme des Referats danken. Besonderer Dank gilt ihm für sein entgegengebrachtes Vertrauen sowie für seine stets unermüdliche, intensive und nette Betreuung.

Herrn Professor Dr. med. Michael Gekle danke ich für die Übernahme des Ko-referates und für die freundliche Durchführung meiner mündlichen Prüfung.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch den Patienten der Kinderpoliklinik und ihren Eltern, die sich bereiterklärten, bei der Ganganalyse mitzumachen.

Im privaten Bereich ist es mir ein Anliegen, mich bei meiner lieben Frau, Dr. med. dent. Carron Brede, für Ihre moralische Unterstützung in jeder Phase, für Ihre Rücksicht und Geduld ganz herzlich zu bedanken.

Des weiteren danke ich meinem Neffen, Sebastian Pfister, der sich gerne als Photomodell zur Verfügung stellte und nun in meiner Dissertation zu sehen ist.

Letztlich möchte ich mich bei meinen Eltern und Schwestern für die lebenslange Förderung und Unterstützung bedanken. Ohne Euch hätte ich vieles nicht geschafft. Vielen herzlichen Dank!

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name Alexander Elmar Hans Oskar Brede
Adresse Breite Länge 1, 97078 Würzburg
Telefon 0931/2878010
E-Mail brede.alexander@web.de
Staatsangehörigkeit Deutsch
Geburtsdatum und -ort 06. März 1978, Würzburg
Zivilstand Verheiratet mit Frau Dr. med. dent. Carron Brede, geborene Johnson
Familie Eltern: Herr Dr. med. dent. Elmar Brede und Frau Ursula Brede
Sechs Geschwister (vier Schwestern und zwei Brüder)

Schulbildung

Grundschule 09/84 – 08/88 Ernst-Keil-Schule, Höchberg
Gymnasium 09/88 – 06/97 Röntgen-Gymnasium, Würzburg, neusprachlicher Zweig mit Abitur-Abschluss

Studium

Zahnmedizin 11/97 – 03/98 Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Humanmedizin 04/98 – 11/05 Julius-Maximilians-Universität Würzburg
04/98 – 03/00 Vorklinik, Physikum
04/00 – 11/05 Klinik
03/01 Erstes Staatsexamen
09/03 Zweites Staatsexamen
10/03 – 09/04 Praktisches Jahr
1. Tertial: Orthopädie, König-Ludwig-Haus, Würzburg
2. Tertial: Chirurgie, Kantonsspital Olten, Schweiz
3. Tertial: Innere Medizin, Juliusspital, Würzburg
11/04 Drittes Staatsexamen

Famulaturen 08/00 Anästhesie, Mainklinik Ochsenfurt
08/01 Innere Medizin, Universitetssjukhuset Umeå, Schweden
03/02 Allgemeinmedizin in einer Arztpraxis, Lohr am Main
03/02 Pädiatrie in einer Kinderarztpraxis, Höchberg
08/02 Kinderrheumatologie, Kinderuniversitätsklinik Würzburg

Promotion Kinderuniversitätsklinik Würzburg, Fachabteilung Kinderrheumatologie,
Ganganalyse des oberen Sprunggelenks rheumaerkrankter Kinder
mittels mobiler Videoaufnahme
Doktorvater: Prof. Dr. med. H. Girschick

Arbeitsstelle

01 – 06/2005 Assistenzarzt im Leopoldina-Krankenhaus der Stadt Schweinfurt, Medizinische Klinik I, Kardiologie
seit 10/2005 Assistenzarzt im Kreiskrankenhaus Tauberbischofsheim, Innere Medizin
