

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie,  
Physikalische Medizin und Rehabilitation  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. med. Dipl. Ing. Volkmar Jansson

**Indikation und Ergebnisse der koxalen Femurvalgisation  
unter besonderer Berücksichtigung des  
Morbus Legg-Calvé-Perthes**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin an der  
Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Barbara Weiß  
aus Regensburg

2019



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

**Berichterstatter:** Prof. Dr. Bernhard Heimkes

**Mitberichterstatter:** PD Dr. Jörg Hausdorf  
Prof. Dr. Jobst-Henner Kühne

**Dekan:** Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

**Tag der mündlichen Prüfung:** 04.07.2019



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Das Krankheitsbild des Morbus Legg-Calvé-Perthes.....	3
2.2 Klassifikation.....	4
2.2.1 Staging.....	4
2.2.2 Grading.....	6
2.2.2.1 Klassifikation nach Catterall.....	6
2.2.2.2 Klassifikation nach Herring.....	8
2.2.2.3 Klassifikation nach Salter und Thompson.....	9
2.2.3 Klassifikation des Endzustands nach Stulberg.....	10
2.3 Prognose.....	13
2.4 Therapie.....	14
2.4.1 Konservative Therapie.....	15
2.4.2 Operative Therapieverfahren.....	15
2.4.2.1 Beckenosteotomie.....	16
2.4.2.2 Umstellungsosteotomien.....	16
2.4.2.2.1 Varisierende Umstellungsosteotomie.....	16
2.4.2.2.2 Valgisierende Umstellungsosteotomie.....	17
2.4.2.3 Weitere, selten indizierte Operationsmethoden.....	18
2.4.2.3.1 Subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation.....	18
2.4.2.3.2 Subtrochantäre Angulationsosteotomie.....	18
2.4.2.3.3 Intraartikuläre femoral head reduction osteotomy.....	18
2.5 Operationsindikation.....	19
2.6 Hinge-abduction-Phänomen.....	19
2.6.1 Spezielle Diagnostik: Arthrographie.....	20
<b>3 Material und Methodik.....</b>	<b>21</b>
3.1 Patientenkollektiv.....	21

3.2	Untersuchung der Krankenakten .....	25
3.3	Klassifikation der Perthes Erkrankung .....	25
3.4	Fragebögen.....	25
3.4.1	Modified Harris Hip Score .....	25
3.4.2	Kidscreen-10.....	26
3.4.3	Gesundheitszustand.....	26
3.5	Untersuchung der klinischen Zeichen.....	26
3.6	Untersuchung der Röntgenaufnahmen.....	27
3.6.1	Projizierter CCD-Winkel (Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel) .....	27
3.6.2	Pelvic Tilt.....	28
3.6.3	Extrusionszeichen .....	29
3.6.3.1	Acetabulum-Head-Quotient.....	29
3.6.3.2	Epiphyseal-Extrusion-Index.....	30
3.6.3.3	Tear-Drop-Distance.....	30
3.6.4	Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp) .....	30
3.6.5	Articulo-Trochanteric-Distance .....	31
3.6.6	Deformity Index nach Nelson .....	32
3.6.7	Moses Sphericity Index .....	33
3.6.8	CE-Winkel.....	34
3.6.9	Migrationsindex nach Reimers .....	34
3.7	Hüftarthrographien .....	35
3.7.1	Hinge-abduction-Phänomen.....	35
3.8	Operationsindikation.....	35
3.9	Statistische Analyse .....	35
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der eigenen Untersuchung .....</b>	<b>36</b>
4.1	Patientenkollektiv .....	36
4.2	Auswertung der Patienten mit Morbus Perthes.....	36
4.2.1	Fragebögen.....	38
4.2.1.1	Modified Harris Hip Score .....	38
4.2.1.2	Kidscreen-10.....	40
4.2.1.3	Gesundheitszustand .....	43
4.2.2	Klinische Zeichen .....	43
4.2.2.1	Bewegungsumfang .....	43
4.2.2.1.1	Abduktion.....	43

4.2.2.1.2	Innenrotation .....	45
4.2.2.2	Beinlängendifferenz .....	46
4.2.3	Radiologische Ergebnisse .....	47
4.2.3.1	Untersuchung des CCD-Winkels .....	47
4.2.3.2	Pelvic Tilt.....	49
4.2.3.3	Extrusionszeichen .....	51
4.2.3.3.1	Acetabulum-Head-Quotient.....	52
4.2.3.3.2	Epiphyseal-Extrusion-Index.....	53
4.2.3.3.3	Tear-Drop-Distance.....	56
4.2.3.4	Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp).....	57
4.2.3.5	Articulo-Trochanteric-Distance .....	58
4.2.3.6	Deformity Index nach Nelson .....	59
4.2.3.7	Mose Sphericity Index.....	60
4.2.3.8	Endzustand nach Stulberg .....	60
4.2.4	Arthrographie .....	60
4.2.5	Operationsindikation.....	61
4.3	Auswertung der Vergleichsgruppe.....	62
4.3.1	Radiologische Ergebnisse .....	64
4.3.1.1	CCD-Winkel .....	64
4.3.1.2	Pelvic Tilt.....	65
4.3.1.3	CE-Winkel.....	66
4.3.1.4	Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp).....	66
4.3.1.5	Articulo-Trochanteric-Distance .....	66
4.3.1.6	Migrationsindex nach Reimers .....	67
4.3.2	Operationsindikation.....	67
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>68</b>
5.1	Methodendiskussion.....	68
5.1.1	Datenerhebung .....	68
5.1.2	Fragebogeninstrumente .....	69
5.1.3	Radiologische Messmethoden .....	69
5.2	Ergebnisdiskussion .....	70
5.2.1	Fragebögen.....	71
5.2.2	Klinische Zeichen .....	71
5.2.2.1	Bewegungsumfänge .....	71
5.2.2.2	Beinlängendifferenz .....	72

5.2.3	Radiologische Ergebnisse .....	73
5.2.3.1	CCD-Winkel .....	73
5.2.3.2	Pelvic Tilt.....	73
5.2.3.3	Extrusionszeichen .....	74
5.2.3.4	Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp) .....	76
5.2.3.5	Articulo-Trochanteric-Distance .....	76
5.2.3.6	Deformity Index nach Nelson .....	77
5.2.3.7	Mose Sphericity Index.....	78
5.2.3.8	Endzustand nach Stulberg .....	78
5.2.4	Arthrographie und Hinge-abduction-Phänomen.....	79
5.2.5	Operationsindikation.....	80
5.2.6	Vergleichsgruppe .....	80
5.2.6.1	Radiologische Ergebnisse .....	81
5.2.6.1.1	CCD-Winkel .....	81
5.2.6.1.2	Pelvic Tilt .....	81
5.2.6.1.3	CE-Winkel.....	82
5.2.6.1.4	Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp).....	82
5.2.6.1.5	Articulo-Trochanteric Distance .....	82
5.2.6.1.6	Migrationsindex nach Reimers .....	82
5.2.6.1.7	Operationsindikation .....	82
5.3	Fallbeispiele .....	84
5.3.1	Beispiel 1: Patient 19.....	84
5.3.2	Beispiel 2: Patient 30.....	87
5.4	Schlussfolgerung und Ausblick.....	90
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>92</b>
	Literaturverzeichnis .....	94
	Anhang.....	XI
	Danksagung .....	XXIII
	Lebenslauf.....	XXIV
	Eidesstattliche Erklärung .....	XXVI

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlaufsstadien des Morbus Perthes nach Waldenström anhand des Röntgenbilds, 1a: Kondensationsstadium, 1b: Fragmentationsstadium, 1c: Reparationsstadium, 1d: Endstadium mit Defektheilung, Zusatzinformation: Initialstadium nicht abgebildet.....	5
Abbildung 2: Radiologische Merkmale der Gruppen nach Catterall .....	7
Abbildung 3: "Lateral Pillar Classification" nach Herring, Beurteilung der Höhe des lateralen Drittels des Femurkopfes .....	8
Abbildung 4: Stulberg-Klassifikation, Morphologie des Endzustandes des Femurkopfes nach Stulberg, 4a: Stulberg I, 4b: Stulberg II, 4c: Stulberg III, 4d: Stulberg IV, 4e: Stulberg V .....	12
Abbildung 5: Bestimmung des CCD-Winkels nach M.E. Müller.....	28
Abbildung 6: Bestimmung des Pelvic Tilt zwischen der Verbindungslinie der Cristae iliacae und der Femurschaftachse .....	29
Abbildung 7: Bestimmung der ATD als Abstand zwischen Femurkopf und Trochanter major, jeweils senkrecht zur Femurlongitudinale .....	31
Abbildung 8: Bestimmung des Deformity Index nach Nelson mit Hilfe einer Schablone des erkrankten Femurs .....	33
Abbildung 9: Durchgeführte Umstellungsosteotomien des koxalen Femurendes im Klinikum Großhadern 2004 bis 2013, Aufteilung nach Diagnose .....	36
Abbildung 10: Anzahl (N) der Schmerzstufe aus der Kategorie Schmerz des mHHS.....	39
Abbildung 11: Boxplot-Diagramm der Kategorie Funktion (activities of daily life, ADL) aus dem mHHS, maximal erreichbare Punktzahl=47 .....	40
Abbildung 12: Boxplot-Grafik des Ergebnisses des Kidscreen-10, Mittelwert von 50, Standardabweichung von 10 .....	41
Abbildung 13: T-Werte des Kidscreen-10 gruppiert nach dem Stulberg-Ergebnis.....	42
Abbildung 14: Anzahl (N) der Qualität des Gesundheitszustandes .....	43
Abbildung 15: Hüftabduktion der operierten Seite (X) im zeitlichen Verlauf präoperativ (Abduktionprä), postoperativ (Abduktionpost) und aktuell (Abduktionaktuell).....	44
Abbildung 16: Hüftabduktionswerte [°] der operierten Seite (X) präoperativ und postoperativ nach Patientenrang .....	45
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Hüftinnenrotation [°] der operierten Seite (X) präoperativ (Innenrotationprä), postoperativ (Innenrotationpost) und aktuell (Innenrotationaktuell).....	46
Abbildung 18: Boxplot Diagramm des zeitlichen Verlaufs präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der CCD Winkel [°] der operierten Seite (X) und der Gegenseite (O).....	49

Abbildung 19: Boxplot-Diagramm des Pelvic Tilt-Winkels (PT) [°] im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell) der operierten Seite (X), Normwert 83° .....	50
Abbildung 20: PT-Winkel Pelvic Tilt [°] der operierten Seite präoperativ (rot) und aktuell (grau) nach Patientenrang .....	50
Abbildung 21: AHQ Acetabulum-Head-Quotient [%] im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der operierten Seite .....	52
Abbildung 22: EEI Epiphyseal-Extrusion-Index [%] präoperativ, postoperativ und aktuell nach Patientenrang .....	53
Abbildung 23: Boxplot-Diagramm des Epiphyseal-Extrusion-Index (EEI) [%] der operierten Seite (X) im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell).....	54
Abbildung 24: präoperative Mittelwerte des Epiphyseal-Extrusion-Index [%] der operierten Seite nach Stulberg-Klassifikation .....	55
Abbildung 25: TDD Tear-Drop-Distance [mm] der operierten Seite (X) und Gegenseite (O) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell).....	56
Abbildung 26: AAS Acetabular Angle of Sharp [°] der operierten Seite (X) und Gegenseite (O) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell).....	57
Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Mittelwerte der Articulo-Trochanteric-Distance präoperativ, postoperativ und aktuell der operierten Seite (X) und der Gegenseite (O), Normwert=16mm.....	58
Abbildung 28: Aufteilung der Grunderkrankungen .....	62
Abbildung 29: CCD-Winkel [°] der operierten Seite im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell) der operierten Seite (X).....	64
Abbildung 30: Articulo-Trochanteric-Distance (ATD) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der operierten (X) und nicht operierten (O) Seite.....	66
Abbildung 31: Patient 19, Erkrankung der rechten Hüftseite, präoperatives Bild .....	85
Abbildung 32: Patient 19, Erkrankung der rechten Hüftseite, postoperatives Bild .....	86
Abbildung 33: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, präoperatives Bild .....	87
Abbildung 34: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, postoperatives Bild.....	88
Abbildung 35: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, aktuelles Bild.....	89

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stadieneinteilung des zeitlichen Verlaufs des Morbus Perthes anhand der morphologischen Besonderheiten nach Waldenström .....	4
Tabelle 2: Merkmale der Klassifikation des Morbus Perthes nach Catterall .....	7
Tabelle 3: "Head at risk"-Zeichen nach Catterall.....	7
Tabelle 4: Merkmale der "Lateral Pillar Classification" nach Herring .....	9
Tabelle 5: Stulberg-Klassifikation: morphologische Beurteilung des Femurkopfes im Ausheilungsstadium mit korrespondierendem Arthroserisiko.....	11
Tabelle 6: Prognostischer Aussagewert einzelner Faktoren auf den Krankheitsverlauf.....	13
Tabelle 7: Ausgangstabelle der Patienten mit Morbus Perthes N=28 .....	23
Tabelle 8 Deskriptive Statistik des Patientenkollektivs .....	23
Tabelle 9: Ausgangstabelle der Patienten mit anderer Grunderkrankung .....	24
Tabelle 10: Normwerte des Pfannenneigungswinkels.....	31
Tabelle 11: Normwerte der ATD .....	32
Tabelle 12: Normwerte des CE-Winkels .....	34
Tabelle 13: Normwerte des Migrationsindex nach Reimers .....	35
Tabelle 14: Auswertung der Patienten nach den Krankheitsstadien nach Waldenström .....	37
Tabelle 15: Auswertung der Patienten nach der Klassifikation von Catterall und Herring.....	37
Tabelle 16: Auflistung der vorausgehenden operativen Eingriffe .....	37
Tabelle 17: Auflistung des Operationszusatzes mit Wertangaben.....	37
Tabelle 18: Auflistung der Folgeeingriffe mit Indikation.....	38
Tabelle 19: Ergebnisse des mHHS der operierten Hüfte.....	38
Tabelle 20: Deskriptive Statistik der Auswertung des Kidscreen-10.....	40
Tabelle 21: Korrelation der Ergebnisse des Kidscreen-10 mit der Stulberg-Klassifikation.....	41
Tabelle 22: Korrelation des Gesundheitszustandes mit dem mHHS und Kidscreen-10.....	43
Tabelle 23: Abduktionswerte der operierte Hüfte präoperativ, postoperativ und aktuell .....	44
Tabelle 24: Werte der Beinlängendifferenz präoperativ und aktuell, mit Wert Verkürzungsosteotomie.....	46
Tabelle 25: Korrelation der Beinlängendifferenz mit dem Valgisations- und CCD-Winkel.....	47
Tabelle 26: Werte des CCD-Winkels präoperativ, postoperativ und aktuell.....	47
Tabelle 27: CCD-Winkel der operierten Seite .....	48
Tabelle 28: Ergebnisse des Pelvic Tilt der operierten Seite präoperativ, postoperativ und aktuell.....	49
Tabelle 29: Ergebnisse des Pelvic Tilt der gesunden Gegenseite präoperativ, postoperativ und aktuell.....	49
Tabelle 30: Anzahl der Patienten mit normwertigem Pelvic Tilt präoperativ, postoperativ und aktuell.....	51

Tabelle 31: Abduktionswerte der Patienten mit im Follow-up normwertigem PT-Winkel .....	51
Tabelle 32: Korrelation der PT-Werte mit der Abduktion .....	51
Tabelle 33: Korrelation der Extrusionszeichen untereinander .....	51
Tabelle 34: Anzahl der Patienten mit normwertigem AHQ .....	52
Tabelle 35: Korrelation des AHQ .....	52
Tabelle 36: Präoperative TDD-Werte nach Stulberg-Klassifikation .....	56
Tabelle 37: Mittelwerte des AAS nach Altersgruppe .....	57
Tabelle 38: ATD-Werte der weiblichen Patienten.....	58
Tabelle 39: ATD-Werte der männlichen Patienten.....	58
Tabelle 40: Signifikanz der Mittelwertänderung der ATD-Werte.....	59
Tabelle 41: Signifikanz des Unterschieds der ATD-Werte der operierten Seite und der Gegenseite.....	59
Tabelle 42: Korrelation der Änderung der ATD-Werte durch die Valgisation, bzw. mit dem CCD-Winkel .....	59
Tabelle 43: Patienten mit pathologischem Deformity Index nach Nelson aktuell .....	59
Tabelle 44: Korrelation des Deformity Index mit dem Herring-Stadium .....	59
Tabelle 45: Korrelation des Remodeling .....	60
Tabelle 46: Patienten mit sphärischem Hüftkopf nach Mose.....	60
Tabelle 47: Verteilung der Patienten nach Stulberg-Gruppe .....	60
Tabelle 48: Anzahl der Patienten und Mittelwert der Stulberg-Gruppe mit dem Grenzwert Alter von 8 Jahren zum OP-Zeitpunkt.....	60
Tabelle 49: Einteilung der Patienten nach ihrer Grunderkrankung .....	62
Tabelle 50: Ätiologie der Coxa vara .....	63
Tabelle 51: Durchgeführte Operationsverfahren .....	63
Tabelle 52: Ergänzende operative Komponente .....	63
Tabelle 53: Einteilung nach Operationsindikation .....	63
Tabelle 54: Ergebnisse des CCD-Winkels der operierten Seite präoperativ, postoperativ und aktuell.....	64
Tabelle 55: Vergleich der CCD- und Valgisationswinkel zwischen den beiden Vergleichsgruppen .....	65
Tabelle 56: PT-Werte der beiden Seiten im zeitlichen Verlauf .....	65
Tabelle 57: Mittelwertvergleich der PT-Werte .....	65
Tabelle 58: Anzahl der Patienten mit normwertigem PT .....	65
Tabelle 59: PT-Werte der beiden Seiten im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit Adduktionskontraktur oder Hinge-abduction-Phänomen.....	65
Tabelle 60: Mittelwert des AAS der beiden Seiten zu den erhobenen Zeitpunkten .....	66

Tabelle 61: Signifikanz des Unterschieds der ATD-Werte der operierten Seite und der Gegenseite.....	67
Tabelle 62: Anzahl der Patienten mit subluxiertem Hüftgelenk .....	67
Tabelle 63: Auswertung der Operationsindikation.....	67

## **Anhang**

Tabelle A 1: Deskriptive Statistik der Perthes-Patienten .....	XV
Tabelle A 2: Übersicht CCD-Winkel der Perthes-Patienten.....	XVI
Tabelle A 3: Übersicht PT-Winkel der Perthes-Patienten.....	XVII
Tabelle A 4: AHQ- und EEI-Werte der Perthes-Patienten .....	XVIII
Tabelle A 5: Übersicht AAS-Werte der Perthes-Patienten .....	XIX
Tabelle A 6: Übersicht TTD-Winkel der Perthes-Patienten .....	XX
Tabelle A 7: Übersicht ATD-Winkel der Perthes-Patienten .....	XXI
Tabelle A 8: Übersicht Nelson Deformity Index der Perthes-Patienten .....	XXII



## 1 Einleitung

Drei wichtige Hüfterkrankungen spielen in der Kinderorthopädie eine wesentliche Rolle. Dazu gehören die kongenitale Hüftdysplasie, der Morbus Legg-Calvé-Perthes und die Epiphyseolysis capitis femoris. Davon weist die idiopathische Hüftkopfnekrose Morbus Legg-Calvé-Perthes bis heute einige rätselhafte Faktoren auf. Dies liegt mitunter an dem schwer prognostizierbarem Krankheitsverlauf mit folgend variablem Endergebnis. Trotz der Versuche, die Prognose mittels Klassifikationen zur Schweregradeinteilung relativieren zu können, hat sich kein anerkannter Algorithmus der konservativen und operativen Therapie herausgebildet. Bei einer Ausheilung des Hüftkopfes mit Inkongruenz und Dezentrierung hat sich in den letzten Jahrzehnten die operative Therapie mittels intertrochantärer varisierender Femurosteotomie und/oder Beckenosteotomie etabliert. Alternativ zur Varisationsosteotomie beschrieb der Perthespezialist Anthony Catterall in seiner Spätphase die intertrochantäre Femurvalgisation zur Verbesserung des Containments [1, 2, 3]. Das Ziel der Femurvarisation ist die Zentrierung des Femurkopfes, welcher medialisiert und somit tiefer in die Hüftpfanne eingestellt wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Valgisationsmethode der deformierte Hüftkopf aus der Hüftpfanne herausgedreht, sodass der mediale, intakte Anteil Gelenkfunktion hat und der laterale Anteil nicht an den Pfannenrand anschlägt.

Die intertrochantäre Femurvalgisation wird als Therapiemethode im Rahmen der Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung zunehmend diskutiert, gilt jedoch noch als Außenseitermethode mit eingeschränkter Indikation. Sie soll als „salvage procedure“ den Patienten mit besonders schwerem Krankheitsverlauf und schlechtem Ausheilungsergebnis vorenthalten bleiben. Insbesondere dann, wenn der vergrößerte und deformierte Hüftkopf bei der Hüftabduktion an den Pfannenrand anschlägt - dem „Hinge-abduction-Phänomen“. Dabei wird sie in der Regel nicht als primäre Therapiemethode angewandt, sondern lediglich als Verbesserungsversuch bei nicht zufriedenstellendem Ergebnis durch andere Behandlungsverfahren.

Die Valgisationsosteotomie wurde im Klinikum Großhadern auch bei Kindern und Jugendlichen mit anderen Grunderkrankungen angewandt, welche durch die ähnliche Morphologie mit einem übergroßen und deformierten Hüftkopf und folgender Adduktionskontraktur eine perthesähnliche Hüftkopfverformung aufweisen. Bei gleicher oder zumindest sehr ähnlicher Pathogenese des Hinge-Abduction-Phänomens sollten diese Patienten in vergleichender Weise in die Studie miteinbezogen werden.

## **Studienziel**

Sowohl für die Patienten mit der Morbus Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung als auch für die mit anderer Grunderkrankung sollte geklärt werden, ob sich die im Klinikum Großhadern durchgeführten Femurvalgisationen in der Indikationsstellung sowie in den Ergebnissen mit vergleichbaren anderen Studien decken. Insbesondere sollte geklärt werden, ob sich die überaus positiven Ergebnisse der Erstbeschreiber der Methode aus den Jahren 2000 von Bankes [2] und 2004 von Catterall [1] bestätigen lassen.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Das Krankheitsbild des Morbus Legg-Calvé-Perthes

Bei dem Krankheitsbild handelt es sich um eine im Kindesalter auftretende Erkrankung des Hüftkopfes. Die aseptische Hüftkopfnekrose tritt dabei idiopathisch auf. Betroffen sind in der Regel Kinder zwischen dem vierten und achten Lebensjahr, wobei Jungen etwa viermal häufiger betroffen sind als Mädchen [4]. Dabei tritt der Befall in der Regel einseitig und nur in lediglich weniger als 10% der Fälle beidseits auf, dann meistens zeitversetzt. Aufgrund der relativ hohen Inzidenz mit 10,8 pro 100.000 Einwohner in Mitteleuropa hat das Krankheitsbild eine hohe klinische Relevanz [5, 6].

Die juvenile Hüftkopfnekrose gehört zur Gruppe der aseptischen Osteochondrosen und ist davon wohl die Bedeutendste. Durch eine Nekrose der Epiphyse kommt es zur Beeinträchtigung der enchondralen Ossifikation des Hüftkopfes [7]. Die Ätiologie der Erkrankung beinhaltet viele Theorien. Als wahrscheinliche Genese anerkannt sind davon die Gefäßtheorie, die der repetitiven Mikrotraumen, Gerinnungsstörungen und genetische Faktoren. Ursächlich ist die Obliteration des intraartikulär verlaufenden, den Hüftkopf versorgenden Gefäßes. Eine vermehrte Belastung ist mit Frakturen im fragilen Spongiosagerüst assoziiert. Den Gerinnungsstörungen liegt eine pathologische Blutgerinnung zugrunde, welche zu einer Durchblutungsstörung des Femurkopfes führt [5, 8]. Außerdem spielen wohl konstitutionelle Faktoren eine Rolle. Auffallend ist auch ein retardiertes Skeletalter, was sich bei vielen Betroffenen zeigt [4].

Klinisch fällt die Erkrankung mit Schmerzen und Schonhinken auf. In der körperlichen Untersuchung lässt sich eine Bewegungseinschränkung des Hüftgelenks mit verminderter Hüftabduktion und -innenrotation feststellen. Besteht durch die Hüftgelenkspathologie außerdem eine Adduktionskontraktur, lässt sich klinisch häufig eine funktionelle Beinlängendifferenz feststellen.

Diagnostischer Goldstandard für den Krankheitsnachweis ist das Röntgenbild der Hüfte in zwei Ebenen. In der Frühphase der Erkrankung kann das radiologische Bild noch unauffällig sein. Hier kann eine Untersuchung mittels Kernspintomographie Aufschluss geben. Anhand der nativ-radiologischen Untersuchung kann außerdem die Stadieneinteilung des zeitlichen Verlaufs (Staging) vorgenommen sowie der Schweregrad der Erkrankung (Grading) abgeschätzt werden.

Alle Krankheitsstadien bis zum Endzustand werden von jedem Patienten durchlaufen, die zeitliche Dauer variiert dabei zwischen drei und fünf Jahren und wird durch keine Therapiemaßnahme beeinflusst [8].

Mithilfe des Gradings soll eine Vorhersage des Krankheitsverlaufs erfolgen und damit auch des Endergebnisses beziehungsweise der Defektheilung [9]. Die Einteilungen richten sich nach der morphologischen Grundlage und lassen sich anhand der nativen Röntgenbilder

durchführen [6]. Des Weiteren dient die wiederholte Röntgenaufnahme des Hüftgelenks als Verlaufskontrolle. Dynamische Untersuchungsverfahren wie die Hüftarthrographie stellen das Containment der Hüfte dar und können Hüftkopffpathologien wie das Hinge-abduction-Zeichen nachweisen [5].

Die radiologisch nachweisbaren Stadien werden im Folgenden erläutert.

## 2.2 Klassifikation

### 2.2.1 Staging

Waldenström publizierte die erste Klassifikation der Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung [10]. Dabei befasste er sich in seiner Arbeit mit der Entwicklungsperiode der von ihm bezeichneten Coxa plana. Es erfolgte eine Stadieneinteilung anhand der morphologischen Auffälligkeiten im Röntgenbild im zeitlichen Verlauf der Erkrankung. Diese Stadien werden heute als Initialstadium, Kondensationsstadium, Fragmentationsstadium, Reparationsstadium und Endstadium bezeichnet. Die fünf aufeinanderfolgenden Stadien werden dabei in einem Zeitraum von mehreren Jahren durchlaufen [6].

Die Besonderheiten der einzelnen Stadien werden in der folgenden Tabelle veranschaulicht:

Tabelle 1: Stadieneinteilung des zeitlichen Verlaufs des Morbus Perthes anhand der morphologischen Besonderheiten nach Waldenström

Stadium	Besonderheiten
<b>Initialstadium</b>	Zunahme des Gelenkspaltes und des Gelenkergusses
<b>Kondensationsstadium</b>	Radiologische Dichtezunahme der Femurkopfeiphyse
<b>Fragmentationsstadium</b>	Subchondrale Aufhellung mit scholligem Zerfall der Epiphyse
<b>Reparationsstadium</b>	Wiederaufbau des Femurkopfes
<b>Endstadium</b>	Endzustand mit oder ohne Defektheilung

Quelle: modifiziert übernommen aus Hefti 2006 [6] und Imhoff 2014 [11]



Abbildung 1a: Kondensationsstadium



Abbildung 1b: Fragmentationsstadium



Abbildung 1c: Reparationsstadium



Abbildung 1d: Endstadium mit Defektheilung

Abbildung 1: Verlaufsstadien des Morbus Perthes nach Waldenström anhand des Röntgenbilds, 1a: Kondensationsstadium, 1b: Fragmentationsstadium, 1c: Reparationsstadium, 1d: Endstadium mit Defektheilung, Zusatzinformation: Initialstadium nicht abgebildet

Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

## 2.2.2 Grading

Dass es so viele verschiedene Klassifikationen der Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung gibt mag daran liegen, dass sich keine Einteilung mit einer einfachen Anwendung, einer eindeutigen Abgrenzung der Stadien, einer optimalen Vergleichbarkeit und einer allgemeingütigen prognostischen Bedeutung durchsetzen konnte. Aufgrund der zum früheren Zeitpunkt begrenzten Diagnostikmöglichkeiten beziehen sich die Einteilungen auf die objektiven morphologischen Auffälligkeiten in der radiologischen Darstellung. Im Folgenden werden die bekanntesten und am häufigsten verwendeten Klassifikationen erläutert.

### 2.2.2.1 Klassifikation nach Catterall

Etwa zehn Jahre vor Catteralls Klassifikation des Morbus Perthes beobachtete O'Garra bereits unterschiedliche Krankheitsverläufe, je nachdem wie anteilig die Femurkopfeiphyse im Röntgenbild betroffen war [12]. Bei seinen Untersuchungen stellte er fest, dass der Befall der Epiphyse Auswirkungen auf den Krankheitsverlauf hat. Davon war vor allem der zeitliche Verlauf der Hüftkopfrekonstruktion abhängig. O'Garra folgerte, dass diese Beobachtung die Grundlage für die verschiedenen Hüftkopfformen nach ausgeheilter Erkrankung und der unterschiedlichen Prognose der Erkrankung bildet.

Catterall veröffentlichte 1971 eine Arbeit, bei der er sich durch die radiologische Untersuchung des Grades der epiphysären Beteiligung eine Aussage bezüglich der Therapieempfehlung und der Prognose erhoffte [13]. Somit wurde erst etwa 60 Jahre nach der Entdeckung der Krankheit eine Klassifikation eingeführt, welche allgemein anerkannt wurde und deren Gebrauch sich in der Literatur durchgesetzt hat.

Mit der erschlossenen Einteilung sollte eine Grundlage geschaffen werden, welche eine standardisierte Vergleichsmöglichkeit der Ergebnisse zukünftiger Therapiemethoden schafft. Catterall beobachtete Unterschiede in der ausgeheilten Femurkopfform. Diese korrelierten mit den morphologischen Auffälligkeiten in der radiologischen Bildgebung. Zur Untersuchung verwendete er a.-p.- und axiale Röntgenbilder. Die beste Beurteilung kann im Fragmentationsstadium der Erkrankung erfolgen. Er erkannte vier verschiedene Formen der Perthes-Erkrankung, die anhand ihrer jeweils spezifischen radiologischen Verlaufsformen voneinander abgegrenzt werden können. Diese zeigten jedoch keine klinischen Unterscheidungsmöglichkeiten.

Die Grundlage der Differenzierung bildet eine Einteilung des Femurkopfes in vier Quadranten, welche in unterschiedlichem Ausmaß betroffen sein können.

In der folgenden Tabelle sind die vier Gruppen mit ihren Merkmalen aufgeführt:

Tabelle 2: Merkmale der Klassifikation des Morbus Perthes nach Catterall

Gruppe	Betroffener Epiphysenanteil		Merkmal
I	25%	Anterolateraler Anteil der Epiphyse	Kein Einbruch der Epiphyse Kein Sequester
II	50%		Anterolateraler Sequester Anterolaterale metaphysäre Veränderungen Kein Einbruch der Epiphyse
III	75%	Nur dorsaler Teil intakt	Großer Sequester Häufig metaphysäre Veränderungen Dislokation eines Epiphysenteils und Höhenminderung möglich
IV	100%		Kompletter Epiphyseneinbruch Dislokation der Epiphyse Großes Ausmaß an metaphysärer Beteiligung möglich

Quelle: modifiziert übernommen aus Catterall 1971 [13] und Grifka 2007 [4]

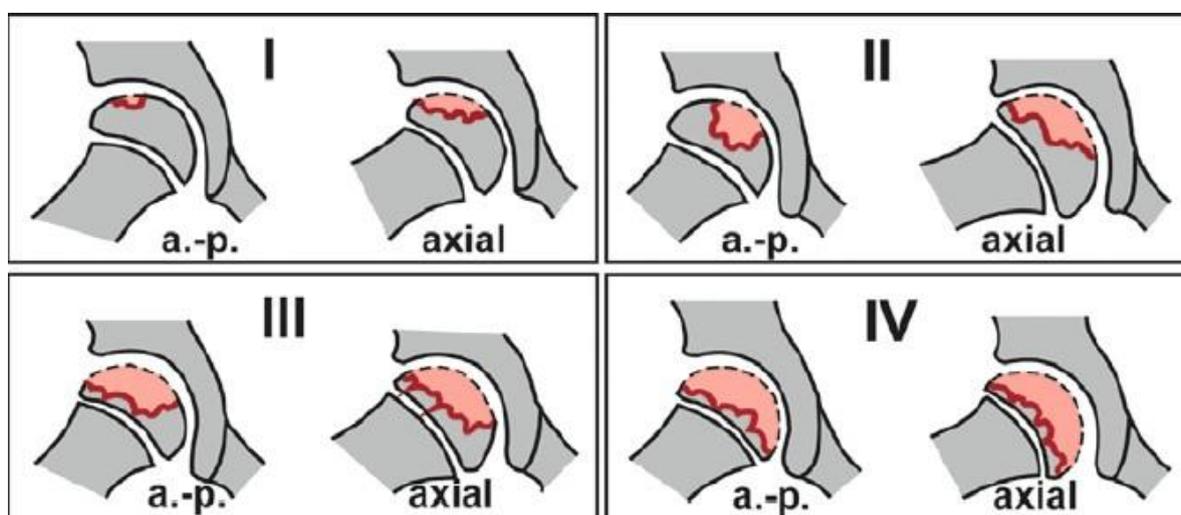


Abbildung 2: Radiologische Merkmale der Gruppen nach Catterall

Quelle: Hefti 2006, S. 242 [6]

Obwohl damit ein genereller Trend der Krankheitsentwicklung gezeigt werden konnte, fielen ein paar wenige Patienten aus diesem Muster heraus. Die prognostisch ungünstigen Zeichen, die sich korrelierend im Röntgenbild zuordnen lassen, werden als „Head at risk“-Zeichen bezeichnet. Diese ursprünglich vier Risikomerkmale wurden noch ergänzt und sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: "Head at risk"-Zeichen nach Catterall

<b>Gage's sign</b>	Kleines osteoporotisches Segment am lateralen Femurkopf Radiologisch abgrenzbares „V“ bzw. Dreieck Wurde zuerst von Gage 1933 beschrieben
<b>Kalzifikation lateral der Epiphyse</b>	Kalkschatten lateral des Femurkopfes Entspricht dem anterioren Anteil des vitalen lateralen Fragments
<b>Laterale Subluxation</b>	Wachstumsveränderung des Hüftkopfes nach lateral mit Zunahme des infero-medialen Gelenkspaltes

<b>Winkel der Wachstumsfuge</b>	Zunehmende Horizontalisierung der Epiphysenfuge Dadurch Begünstigung einer Deformierung des lateralen Anteils
<b>Metaphysäre Beteiligung</b>	Angrenzend an die Epiphysenfuge osteolytische und zystische Herde

Quelle: modifiziert übernommen aus Catterall 1971 [13] und Hefti 2006 [6]

### 2.2.2.2 Klassifikation nach Herring

Das Ziel der Studie von Herring et al. 1992 [14] war es, eine verbesserte radiologische Klassifikation der Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung zu entwickeln. Dabei schuf er eine Methode mit hohem prognostischen Aussagewert, welche mit Hilfe des Erkrankungsalters eine reproduzierbare Klassifikation darstellt, um den Erfolg und die Bedeutung einer Therapiemethode retrospektiv und prospektiv zu beurteilen. Außerdem weist die Einteilung eine höhere Interobserver-Variabilität auf als die Klassifikation nach Catterall.

Die „Lateral Pillar Classification“ nach Herring zeigt viele Gemeinsamkeiten mit der Klassifikation nach Catterall und kann auch als eine Vereinfachung dieser gesehen werden. Herring beobachtete, dass die Fragmentation jeweils in verschiedenen Segmenten des Hüftkopfes auftrat. Deswegen unterteilt die Methode den Femurkopf im a.p.-Röntgenbild in drei Pfeiler, den lateralen, zentralen und medialen, wobei der mediale Pfeiler die größte Breite des Kopfes ausmacht. Die Grundlage der Klassifikation bildet dabei das Ausmaß der Beteiligung des lateralen Pfeilers. Dabei wird die Höhe der lateralen Femurkopfepiphyse beurteilt [5]. Zur Bestimmung des Ausmaßes des Höhenverlustes soll die gesunde Gegenseite zum Vergleich herangezogen werden. Die morphologische Beurteilung soll im Fragmentationsstadium erfolgen.

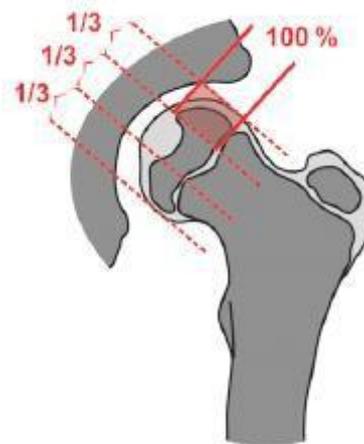


Abbildung 3: "Lateral Pillar Classification" nach Herring, Beurteilung der Höhe des lateralen Drittels des Femurkopfes

Quelle: Hefti 2006, S. 243 [6]

Tabelle 4: Merkmale der "Lateral Pillar Classification" nach Herring

			
<b>Gruppe</b>	<b>Gruppe A</b>	<b>Gruppe B</b>	<b>Gruppe C</b>
<b>Lateraler Pfeiler</b>	Keine Beteiligung des lateralen Pfeilers	>50% der Höhe des lateralen Pfeilers erhalten	<50% der Höhe des lateralen Pfeilers erhalten
<b>Prognose anhand der Stulberg-Klassifikation</b>	Günstig	Abhängig vom Alter bei Erkrankungsbeginn	Ungünstig

Quelle: Abbildungen: Herring et al. 1992 [14], Text: modifiziert übernommen aus Grifka et al. 2007 [4]

Es zeigte sich, dass die Prognose der Klassifikation nach Herring mit dem Endergebnis nach Stulberg korreliert [15]. Ein weiterer Vorteil ist, dass diese Einteilung während der aktiven Krankheitsphase durchgeführt werden kann.

2004 erschien eine Publikation von Herring et al. [16], welche eine modifizierte Version der Klassifikation darstellt und eine Grenzgruppe zwischen den Gruppen B und C hinzufügt. Diese Grenzgruppe beinhaltet alle Patienten, deren Femurkopf einen sehr schmalen oder einen wenig ossifizierten lateralen Pfeiler aufweist und mit einem Höhenverlust von 50% einhergeht. Durch den Zusatz konnte eine niedrigere Inter- und Intraobserver-Variabilität erreicht werden. Somit kann mit diesen reproduzierbaren Ergebnissen eine Grundlage für den Vergleich von Therapiemethoden in gleichen Gruppen geschaffen werden. Die Klassifikation weist unter Berücksichtigung des Patientenalters bei Erkrankungsbeginn die prognostisch höchste Aussagekraft der verschiedenen Einteilungen auf. Deswegen ist sie heute wohl die gebräuchlichste [6, 8].

### 2.2.2.3 Klassifikation nach Salter und Thompson

Die Ausdehnung des Defektes des betroffenen Femurkopfes stellt einen wesentlichen und signifikanten Faktor für die prognostische Aussage dar. Die radiologische Bestimmung des Defektausmaßes, und somit die von Catterall bestimmte Klassifikation, ist jedoch erst am Ende des Fragmentationsstadiums möglich. Ein frühes radiologisches Zeichen, welches schon zu Beginn der Erkrankung und im frühen Fragmentationsstadium sichtbar ist und sich besonders gut in der axialen Aufnahme darstellt, ist die subchondrale Frakturlinie [6]. Diese Linie zeigt sich als sichelförmige Aufhellung im Röntgenbild und wurde bereits von Waldenström 1922 [10] beschrieben. Salter und Thompson [17] fanden einige Jahre später heraus, dass die Ausdehnung der subchondralen Fraktur mit der Größe der Beteiligung des Femurkopfes am pathologischen Prozess korreliert. Sie dient somit als prognostischer Faktor, um das folgende maximale Ausmaß der Nekrose des Femurkopfes vorherzusagen [18].

Anhand dieser Erkenntnisse konnten den vier Gruppen nach Catterall jeweils bestimmte Eigenschaften des pathologischen Prozesses zugewiesen werden.

Da lediglich zwischen den Catterall Gruppen II und III ein wesentlich signifikanter Unterschied bestand, schlugen die Autoren eine Klassifikation in zwei Gruppen vor. Gruppe A weist dabei einen Femurkopf auf, in dem weniger als die Hälfte der Epiphyse betroffen ist. Bei Gruppe B zeigt sich dagegen mehr als die Hälfte der Wachstumsfuge betroffen. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die An- oder Abwesenheit eines intakten lateralen Randes der Femurkopfeiphyse. Tritt keine subchondrale Osteolyse auf, bleibt auch die Resorption aus, die Krankheit verläuft klinisch inapparent und heilt folgenlos aus [17].

Mit Hilfe der subchondralen Frakturlinie kann somit sehr früh die Größe der Nekrosezone des betroffenen Kopfes vorhergesagt werden und durch ihr Auftreten bereits zu Krankheitsbeginn eine frühzeitige Klassifikation erfolgen. Die Einteilung nach Salter und Thompson bezeichnet somit eine wichtige Methode, um in den Anfangsstadien eine Aussage über die Prognose und die möglichen Behandlungskonsequenzen treffen zu können.

Obwohl das Auftreten der Frakturlinie mit dem der klinischen Symptome korreliert, und folglich eigentlich der diagnostische Werdegang in die Wege geleitet werden sollte, liegen in diesem frühen Stadium häufig noch keine Röntgenbilder vor. Dies mag wohl einer der Gründe sein, warum diese Klassifikation trotz ihrer einfachen Unterteilung nicht so gebräuchlich ist [18].

### **2.2.3 Klassifikation des Endzustands nach Stulberg**

Während die zuvor genannten Einteilungen Merkmale beschreiben, die möglichst früh eine Vorhersage über den Krankheitsverlauf erlauben, musste auch eine allgemein gültige Klassifikation des Endzustandes erfolgen. Damit sollen der Schweregrad der Krankheitsverläufe bezüglich der Residuen und der Erfolg der unterschiedlichen Therapieformen verglichen werden können. Dazu gibt es zahlreiche Arbeiten.

Waldenström beschrieb bereits in seinem Werk 1922 [10] eine Klassifikation des Endzustands. Er teilte die endgültige Gelenkform in drei Gruppen ein:

- Gruppe 1 Runder Hüftkopf; Kopf und Schenkelhals können deutlich vom Trochanter major differenziert werden.
- Gruppe 2 Der kaudale und frontale Anteil des Hüftkopfes überlagert Teile des Trochanter major, sodass der obere Teil des Schenkelhalses nicht mehr erkennbar ist und es keine Grenze zwischen Kopf und Schenkelhals gibt.
- Gruppe 3 Der Hüftkopf ist nicht rund und liegt nicht mehr vor dem Trochanter, weist jedoch eine scharfe Grenze auf und berührt den Trochanter gewöhnlich; der Schenkelhals ist verkürzt.

Ponseti stellte einen Zusammenhang zwischen dem Anteil der betroffenen Epiphyse und dem Ausheilungszustand der Erkrankung fest. In seinem Werk von 1961 unterschied er dabei drei

Gruppen, je nach Schweregrad des Befalls, welche eine unterschiedliche Ausprägung der Abflachung im Endzustand aufwiesen [19].

Mose schlug 1980 [9] eine Methode vor, in der bestimmt werden sollte, ob der Femurkopf sphärisch ist, um somit das Resultat des Endzustands zu beschreiben.

Stulberg et al. [20] erschufen kurz darauf die wohl gebräuchlichste Klassifikationsform [18]. Mit Hilfe der Einteilung soll eine Aussage bezüglich der Spätprognose möglich werden. Darunter wird die Vorhersage des Arthroserisikos verstanden [9].

In ihrem Werk untersuchten die Autoren Stulberg et al. den Zusammenhang zwischen dem Endzustand und dem Arthroserisiko sowie spezifische Unterschiede im Krankheitsprozess, welche folgende Gruppeneinteilung erlauben.

Die Einteilung erfolgte anhand von Röntgenbildern, aufgenommen bei Skelettreife und im Endstadium der Erkrankung.

Tabelle 5: Stulberg-Klassifikation: morphologische Beurteilung des Femurkopfes im Ausheilungsstadium mit korrespondierendem Arthroserisiko

	<b>Gruppe</b>	<b>Merkmal</b>	<b>Arthroserisiko</b>
<b>Typ 1</b> Sphärisch kongruent	Gruppe I	Normales, unauffälliges Hüftgelenk	Kein Auftreten von Arthrose
	Gruppe II	Sphärischer Femurkopf mit mindestens einem der folgenden Merkmale: - Coxa magna - Verkürzter Schenkelhals - Steiles Azetabulum	
<b>Typ 2</b> Asphärisch kongruent	Gruppe III	Ovaler oder pilzförmiger Femurkopf mit einem abweichendem Merkmal (siehe Gruppe II)	Milde bis moderate Arthrose im späten Erwachsenenalter
	Gruppe IV	Flacher Femurkopf mit einer Anomalie des Kopfes, Halses oder Azetabulums (mind. 1 cm Abflachung in der lasttragenden Zone entweder im a.p. Bild oder seitlichen Strahlengang [21])	
<b>Typ 3</b> Asphärisch inkongruent	Gruppe V	Flacher Femurkopf mit normalem Schenkelhals und normalem Azetabulum	Schwere Arthrose vor dem 50. Lebensjahr

Quelle: modifiziert übernommen aus Stulberg et al. 1981[20]



Abbildung 4: Stulberg-Klassifikation, Morphologie des Endzustandes des Femurkopfes nach Stulberg, 4a: Stulberg I, 4b: Stulberg II, 4c: Stulberg III, 4d: Stulberg IV, 4e: Stulberg V  
 Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

Stulberg et al. konnten in ihrer Arbeit über insgesamt 170 Hüften bei einem Follow-up von jeweils 40 und 30 Jahren herausfinden, dass jede erkrankte Hüfte einer von fünf Gruppen zugeteilt werden kann. Dabei zeigt jede Gruppe ein charakteristisches Krankheitsmuster während der aktiven Krankheitsphase sowie im klinischen und radiologischen Verlauf. Die Unterschiede zeigten sich in der klinischen Untersuchung und im Röntgenbild. Der Krankheitsverlauf bestimmt somit die nach der Ausheilung vorliegende Form des Femurkopfes und damit die Kongruenz des Hüftgelenks. Die Hüftkongruenz ist entscheidend für frühzeitige Abnutzungserscheinungen und damit für das Auftreten von Arthrose.

Somit wurden mit Hilfe der Studie nicht nur die zur jeweiligen Gruppe der Klassifikation passenden Merkmale der aktiven Krankheitsphase identifiziert, sondern auch der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Hüftdeformität nach ausgeheilter Erkrankung und der Entwicklung einer Osteoarthrose untersucht.

Die Einteilung erlaubt einen guten Vergleich der Ergebnisse verschiedener Therapiemethoden. Außerdem bleibt sie der beste Prädiktor bezüglich der klinischen Merkmale Schmerz und Funktion sowie einer zukünftigen Hüftarthrose.

## 2.3 Prognose

Das Krankheitsgeschehen der juvenilen Hüftkopfnekrose zeigt insgesamt einen sehr variablen Verlauf. Für die Prognose relevant ist der Ausheilungszustand des Hüftkopfes, der somit in der Langzeittendenz eine Aussage über das Arthroserisiko trifft [16, 20]. Das Krankheitsergebnis wird durch bestimmte Faktoren beeinflusst. Dabei sind das Patientenalter und radiologische Parameter von Bedeutung [5, 6]. Im Hinblick auf die Wahl des richtigen Therapieverfahrens sollen all diese Faktoren berücksichtigt werden [5, 6, 8]

Die wichtigsten Faktoren mit prognostischem Aussagewert sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 6: Prognostischer Aussagewert einzelner Faktoren auf den Krankheitsverlauf

Prognosefaktor	Prognostische Bedeutung	Günstig	Ungünstig
Alter	+++	Unter 6 Jahre	Über 6 Jahre
Laterale Kalzifikation (Head at risk)	++	Keine	Vorhanden
Subluxation (Head at risk)	++	Keine	Vorhanden
Herring	++	A, B	B/C, C
Beweglichkeit	++	Gut	Schlecht
Geschlecht	+	Männlich	Weiblich
Ausmaß der Nekrose (Catterall, Salter und Thompson)	+	I, II	III, IV
Metaphysäre Beteiligung (Head at risk)	+	Keine	Vorhanden
Gage-Sign (Head at risk)	-	Vorhanden	Keine
Horizontalisierung der Epiphysenfuge (Head at risk)	-	Vorhanden	Keine

Quelle: modifiziert übernommen aus Hefti 2006 [6] und Adolf et al. 2014 [8]

Dem Patientenalter bei Erkrankungsbeginn kommt dabei die höchste prognostische Bedeutung zu [6, 20, 22]. Je jünger der Patient, desto höher ist das Remodellierungs- und somit Heilungspotential [5, 13]. Eine hohe Relevanz hat außerdem das Containment. Eine optimale Überdachung des Hüftkopfes führt zu einem guten Ausheilungsergebnis. Ein lateraler Kalkschatten sowie ein extrudierter Femurkopf zeigen eine Verschlechterung des Containments. Diese radiologisch nachweisbaren negativen prognostischen Faktoren sind

beides von Catterall definierte „Head at risk“-Zeichen [13]. Auch die Herring-Klassifikation gibt einen Hinweis auf die Hüftkopfüberdachung je nach Befall des lateralen Pfeilers. Somit zeigt auch sie eine hohe Korrelation mit dem Endergebnis. Folglich weisen Kinder mit einem Herring B/C- oder C- Stadium ein schlechteres Ergebnis auf [8, 22]. Eine hohe Aussagekraft hat außerdem eine Bewegungseinschränkung. Einhergehend mit einer Verkürzung der Adduktoren kommt es häufiger zur Subluxation des Hüftkopfes [6]. Des Weiteren spielt das Geschlecht eine wichtige Rolle. Das weibliche Geschlecht ist zwar weniger häufig betroffen, zeigt dafür aber eine schlechtere Spätprognose. Das Ausmaß der Nekrose (Catterall-Klassifikation und Einteilung nach Salter und Thompson) hat eine mäßige prognostische Bedeutung. Der prognostische Wert der „Head at risk“-Zeichen „Gage-Sign“ und die Horizontalisierung der Epiphysenfuge haben laut Langzeitstudien keine prognostische Relevanz [23].

Zusammenfassend zeigen die klinischen Faktoren Alter, Beweglichkeit und Geschlecht sowie die radiologischen Faktoren der Subluxation und lateralen Verkalkung die höchste prognostische Relevanz. In den oben genannten Klassifikationssystemen werden diese Variablen jedoch nicht berücksichtigt.

## 2.4 Therapie

Das wichtigste Therapieziel ist eine Restitutio ad integrum. Das bedeutet einerseits einen klinisch beschwerdefreien Patienten ohne Schmerzen oder eingeschränkte Funktion, andererseits eine radiologisch folgenlose Ausheilung als Grundvoraussetzung. Daher gilt eine vollständige Überdachung des Hüftkopfes durch das Azetabulum - das Containment - als besonders relevant. Somit kann man zusammenfassend von „motion and containment“ als Zielvorstellung sprechen: es soll die freie Hüftgelenksbeweglichkeit erhalten bleiben, dabei vor allem die Rotation und Hüftabduktion, sowie eine Zentrierung des Hüftkopfes erreicht werden [5]. Es gilt zu verhindern, dass das Hüftgelenk in einer Inkongruenzsituation ausheilt. Denn dann besteht die Gefahr einer Defektheilung, einer präarthrotischen Deformität und einer sekundären, deformativen Osteoarthrose. Um dies zu verhindern, ist die Wahl des richtigen Therapieverfahrens von hoher Bedeutung und Relevanz. Ein allgemein gültiges Therapieschema ist aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren und zu berücksichtigenden Variablen nur schwer zu etablieren. Zu beachten sind dabei unter anderem die oben genannten Prognosefaktoren.

Die grundlegende Unterscheidung ist dann, ob ein konservatives Behandlungsverfahren ausreicht, oder ob ein invasives Verfahren angewandt werden muss, um bei den Kindern und Jugendlichen ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen.

### 2.4.1 Konservative Therapie

Als konservative Therapieverfahren muss man die medikamentöse Therapie, entlastende und ruhigstellende Verfahren sowie die Extensionsbehandlung nennen.

Die medikamentöse Therapie ist ausschließlich symptomorientiert und hat keine prognostische Bedeutung. Indiziert in der inflammatorischen Frühphase kommen dabei nichtsteroidale Antiphlogistika, wie zum Beispiel Ibuprofen, zum Einsatz. Ergänzend muss eine Entlastung des betroffenen Gelenks erfolgen [5]. Dies wird durch körperliche Schonung, Sportverbot und gegebenenfalls eine Gewichtsreduktion erreicht. Die physiotherapeutische Beübung kommt während des gesamten Krankheitsverlaufs zum Einsatz. Durch sie soll eine Zentrierung des Gelenks sowie eine Aufrechterhaltung der bestehenden Beweglichkeit erreicht werden. Dies ist auch teilweise Grundvoraussetzung für verschiedene operative Verfahren [5, 6, 8].

Die Behandlung mit dauerhafter Entlastung und Ruhigstellung wurde heute weitestgehend verlassen. Die Wirksamkeit von entlastenden Orthesen wie dem Thomas-Splint-Apparat konnte nicht nachgewiesen werden. Durch die Entlastung zeigen sich sogar erhöhte intraartikuläre Drücke [5, 24].

Extensionsbehandlungen und abduzierende Orthesen führen zu einer enormen Einschränkung der Mobilität und des Alltags. Außerdem führt die Immobilisation zu negativen Begleiterscheinungen wie Muskelatrophie, Kontrakturneigung, Gewichtszunahme und sozialer Ausgrenzung [5].

Die konservativen Therapieverfahren kommen bei leichten Krankheitsverläufen zum Einsatz. Damit kommt sie bei jungen Kindern (unter 6 Jahren) ohne Bewegungseinschränkung und ohne Schmerzen mit nur sporadischem Belastungsschmerz zum Tragen. Diese Patienten sollten zwar engmaschig kontrolliert werden, bedürfen aber keines invasiven Eingriffs [4, 16]. Im besten Fall reicht eine Belastungsreduktion und physiotherapeutische Beübung aus [5].

### 2.4.2 Operative Therapieverfahren

Als allgemein anerkannte operative Behandlungsverfahren stehen die varisierende Femurosteotomie und die Beckenosteotomie zur Verfügung. Im Sinne eines „advanced Containment“ können beide Verfahren kombiniert und die Vorteile der beiden operativen Möglichkeiten genutzt werden [8]. Die operativen Verfahren sind indiziert, wenn die konservative Therapie versagt oder Risikofaktoren für ein schlechtes Endergebnis vorliegen und somit das Containment gefährdet ist. Voraussetzungen für ein gutes Operationsergebnis sind eine erhaltene gute Beweglichkeit im Hüftgelenk und eine frühe Erkrankungsphase. Es soll in der Hüfte eine Abduktion von mindestens 30° möglich sein, denn eine höhergradige Bewegungseinschränkung stellt sogar eine Kontraindikation für eine operative Versorgung dar [25]. Erfolgt die Behandlung im Fragmentations- oder im frühen Reparationsstadium, kann das Remodellierungspotential des Hüftkopfes ausgenutzt werden [5].

### **2.4.2.1 Beckenosteotomie**

Durch die Beckenosteotomie soll eine Optimierung der Gelenksituation durch eine verbesserte Überdachung des Hüftkopfes erfolgen. Dabei kann der laterale Anteil des Femurkopfes besser in das Azetabulum eingestellt werden. Es kommen die Osteotomie nach Salter und die Tripleosteotomie zum Einsatz. Bis zum achten Lebensjahr besteht noch eine genügende Elastizität des Knochens und der Symphysis pubis beziehungsweise besteht noch eine offene Y-Fuge. Deshalb genügt zur Korrektur allein die Neuausrichtung des Os ilium. Dabei wird bei der Osteotomie nach Salter das Os ilium oberhalb des Azetabulum in Höhe des Foramen ischiadicum keilförmig komplett durchtrennt und danach die gesamte Pfanne in eine bessere Position gedreht. Die Fixation erfolgt durch Einsetzen eines Knochenkeils. Dadurch soll ein flacheres Pfannendach geschaffen werden [26]. Da durch diese Beckenosteotomie auch der ventrale Femuranteil besser überdacht werden kann, kommt die Methode bevorzugt zum Einsatz, wenn sich der Femurkopf zusätzlich in der Flexion besser einstellen lässt [6].

Ab circa acht Jahren wird aufgrund der rückläufigen Plastizität des Knochen-/Bandapparates die Tripleosteotomie empfohlen. Bei der Dreifachosteotomie nach Tönnis muss das Azetabulum durch mehrere Osteotomien aus dem Knochenverbund gelöst werden. Die Durchtrennung erfolgt am Os ilium, Os pubis und Os ischii. Das Azetabulum kann unter dreidimensionaler Rekonstruktion neu orientiert und refixiert werden [26].

Die Vorteile der Beckenosteotomien sind, dass im Vergleich zur Femurosteotomie die Beinlänge sowie der Hebelarm der Abduktoren nicht beeinflusst werden. Jedoch ist die Triple-Osteotomie eine technisch anspruchsvolle Operation. Außerdem kann durch die Osteotomie nach Salter eine intraartikuläre Druckerhöhung folgen [6].

### **2.4.2.2 Umstellungsosteotomien**

#### **2.4.2.2.1 Varisierende Umstellungsosteotomie**

Die Femurosteotomie wurde zuerst von Sœur und De Racker 1952 [27] vorgeschlagen. Damit sollte eine bessere Zentrierung des Femurkopfes in der Hüftpfanne erfolgen. Zur Wiederherstellung des Containments soll der abgeflachte, subluxierte Hüftkopf durch die Varisierungsosteotomie tief in die Pfanne eingestellt werden. Man erhofft sich durch das Azetabulum eine stabilisierende Form und somit einen sphärischen Wiederaufbau des erweichten Hüftkopfes. Die intertrochantäre Varisation entspricht dabei einer dauerhaften Hüftabduktion [6]. Somit kann der laterale Teil des Femurkopfes in das Azetabulum zentriert werden. Um ventrale Anteile des Femurkopfes besser einstellen zu können, muss eine extendierende Komponente hinzugefügt werden. Die Varisationsosteotomien können also mit weiteren Verfahren, wie rotierende oder extendierende Elemente, kombiniert werden.

Bei der intertrochantären Femurosteotomie wird das proximale Femur unmittelbar oberhalb des Trochanter minors mittels medialer Keilentnahme durchtrennt. Das proximale

Femursegment kann nun neu orientiert werden. Dabei wird durch die primär angelegte Winkelplatte das distale Femursegment gegenüber dem proximalen Segment nach medial verschoben [26]. Der CCD-Winkel soll dabei ausreichend reduziert werden, um eine gute Zentrierung des Hüftkopfes zu erreichen. Jedoch muss eine Überkorrektur unter  $105^\circ$  mit konsekutiven Trochanterhochstand vermieden werden [5, 25].

Das Verfahren wird bei Kindern unter sechs Jahren mit einem mehr als 50-prozentigem Hüftkopfbefall indiziert [28].

Nachteil der Methode ist die Gefahr, bei der Fixierung des verkippten proximalen Femuranteils die offene Wachstumsfuge durch das eingebrachte Osteosynthesematerial zu verletzen. Außerdem ist mit der Varisationsosteotomie häufig eine Verkürzung des proximalen Femurs verbunden. Durch die Umstellung kommt es zu einem Trochanterhochstand mit folgender Insuffizienz der Glutealmuskulatur. Wie bereits oben erwähnt, ist eine Hüftbeweglichkeit mit ausreichender Abduktionsfähigkeit Operationsvoraussetzung. Besteht ein Abduktionsdefizit, besteht postoperativ die Gefahr einer Adduktionskontraktur mit weiterer Dezentrierung der Hüfte. Außerdem kann das Offset vergrößert werden. Es muss bedacht werden, dass es bei verbleibendem Restwachstum zu einer Revalgisierung des Schenkelhalses kommt [6, 8, 26].

#### **2.4.2.2 Valgisierende Umstellungsosteotomie**

Diese kommt bei der Behandlung des Defektstadiums zum Einsatz. Im Rahmen der Therapie des Morbus Perthes wird sie deshalb als „salvage procedure“ bezeichnet [2]. Kommt es im Spätstadium der Erkrankung zu einer Defektheilung, kann eine enorme Deformität des Femurkopfes entstehen. Ein Problem ist dann das Anschlagen des Wulstes des vergrößerten Hüftkopfes am Pfannenerker. Eine Neuorientierung des Wulstes und somit eine Besserung des Hinge-abduction-Phänomens mit verbesserter Gelenkkongruenz erlaubt die valgisierende Femurosteotomie [29].

Analog zur Varisationsosteotomie erfolgt dabei die Durchtrennung des proximalen Femuranteils oberhalb des Trochanter minor. Es wird ein lateraler Keil entnommen und der CCD-Winkel vergrößert. Dabei werden das femorale Offset und der Kraftarm verringert. Der Trochanter major wird distalisiert und der Schenkelhals funktionell verlängert. Der mediale, besser erhaltene Femurkopfanteil ist nun in die Hauptbelastungszone rotiert. Somit soll die Anatomie und Funktion bestmöglich erhalten werden [2, 30]. Auch diese Osteotomie kann durch rotierende und flexierende Elemente ergänzt werden.

Die Methode wurde 1986 von Quain und Catterall [3] vorgeschlagen, da sie nicht nur in bestimmten Fällen zu einer verbesserten Überdachung des Hüftkopfes führt, sondern auch das Impingement reduziert. Damit können eine Schmerzreduktion sowie eine verbesserte Beweglichkeit im Hüftgelenk erreicht werden. Bankes [2] und Yoo [31] untersuchten in ihren Arbeiten das positive Remodeling des betroffenen Femurkopfes in der Wachstumsphase

sowie das Patientenalter zum Operationszeitpunkt und das Krankheitsstadium als assoziierte Faktoren.

#### **2.4.2.3 Weitere, selten indizierte Operationsmethoden**

Weitere Methoden bei komplikativem Krankheitsverlauf mit Trochanterhochstand sind die Trochanterdistalisierung oder die Apophysiodese des Trochanter major bei noch offenen Wachstumsfugen [8]. Diese sind nur im Einzelfall bei speziellen Krankheitsbildern und Pathologien indiziert.

##### **2.4.2.3.1 Subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation**

Die subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation wurde erstmalig von Borden et al. 1966 beschrieben [32, 33]. Dabei wird der übliche laterale Zugang gewählt. Das Plattensitzinstrument wird anhand eines Führungsdrahtes genau in Richtung Kopfmittle bis kurz vor die Epiphysenfuge eingeschlagen. Zwei weitere Kirschner-Drähte jeweils über und unter der Osteotomiestelle dienen der Rotationskontrolle. Die subtrochantäre Osteotomie erfolgt eine Femurschaftbreite distal der Stelle der Platteninsertion von ventral her. Die Durchtrennung erfolgt dabei horizontal, beziehungsweise zieht sie leicht nach mediodistal in einem Winkel, welcher den Plattenschaft und die spätere Auflagefläche ausgleicht und mit Hilfe einer präoperativen Zeichnung bestimmt wurde. Das proximale Osteotomiefragment wird anschließend mit der lateralen Auflagefläche der Osteotomiefläche des Femurschafts aufgelegt und mit Hilfe der Winkelplatte fixiert. Das Operationsergebnis wird im Bildwandler kontrolliert und der Operationssitus fachgerecht verschlossen [32, 34].

Es erfolgt eine bewusste Überkorrektur des altersentsprechenden CCD-Winkels. Sie kommt bei einer schweren kindlichen Coxa vara mit einem CCD-Winkel unter 100° zum Einsatz.

##### **2.4.2.3.2 Subtrochantäre Angulationsosteotomie**

Die subtrochantäre Angulationsosteotomie ist ein heute nur noch selten durchgeführtes Operationsverfahren. Sie kommt bei der therapieresistenten hohen Hüftluxation zum Einsatz. Dabei erfolgt die Durchtrennung des proximalen Femurendes distal des Trochanter minor mit lateraler Keilentnahme. Dadurch entsteht zwischen Schenkelhals und Schaft ein nach außen offener Winkel. Außerdem wird durch den Trochanter minor neben dem Hüftkopf eine zweite Abstützungsfläche geschaffen. Mit der Methode soll eine Besserung der Schmerzsituation sowie eine verbesserte Stabilität bei Belastung erreicht werden.

Die Angulationsosteotomie ist bei noch vorhandenem Wachstumspotential nicht indiziert, da das Operationsergebnis durch das Wachstum sonst ausgeglichen wird [35].

##### **2.4.2.3.3 Intraartikuläre femoral head reduction osteotomy**

Ganz et al. schufen 2001 eine neue Behandlungsmethode für deformierte Femurköpfe im Rahmen der Morbus Legg-Calvé-Perthes Erkrankung [36, 37]. Durch den Krankheitsverlauf

kann es zu einem vergrößerten und asphärischen Femurkopf kommen. Dieser weist vor allem im zentralen Drittel die größte Pathologie auf, während im lateralen Drittel der Knorpel durch die extraartikuläre Lage und die fehlende direkte Belastungszone meist noch gut erhalten ist. Dies ist die Grundlage für das Operationsverfahren. Es wird das Hüftgelenk eröffnet und der Trochanter abgesetzt, um die vaskuläre Situation darzustellen. Anschließend wird ein Keil aus dem lateralen Drittel des Femurkopfes entnommen. Das mediale und laterale Kopffragment werden so adaptiert, dass sich ein möglichst runder Femurkopf mit möglichst gesundem Knorpel ergibt. Dadurch kann ein deformierter Hüftkopf wieder Sphärizität erlangen und Containment im Hüftgelenk erreicht werden [38].

Die Gefahr der Verletzung der vaskulären Versorgung des Hüftkopfes mit folgender Osteonekrose hat bisher zu großer Zurückhaltung geführt [37].

## 2.5 Operationsindikation

Das grundlegende Therapieziel ist die des Containments mit einer bestmöglichen Kongruenz zwischen Femurkopf und Azetabulum. Eine operative Versorgung ist angezeigt, wenn konservative Methoden zur Hüftzentrierung nicht mehr ausreichen. Die operative Versorgung mittels valgusierender Femurosteotomie ist zur Behandlung des Defektstadiums vorgesehen [6]. Bei einem übergroßen und lateralisiertem Hüftkopf wird häufig in Hüftadduktionsstellung eine bessere Einstellung des Femurkopfes im Azetabulum erreicht. Tritt zusätzlich noch das Hinge-abduction-Phänomen auf, kann durch die Adduktionsstellung das Anschlagen des deformierten lateralen Hüftkopfteils am Pfannenrand reduziert oder sogar aufgehoben werden. Diese Fälle werden durch klinische und radiologische Untersuchungen, besonders durch die Arthrographie, identifiziert. Durch die proximale valgusierende Femurosteotomie und die dauerhafte adduktive Einstellung kann eine Reduzierung des Schmerzes und eine Verbesserung der Hüftgelenksfunktion erreicht werden [2, 31].

## 2.6 Hinge-abduction-Phänomen

Dieses Phänomen beschreibt die durch einen vergrößerten und deformierten Hüftkopf im Hüftgelenk entstehende Fehlfunktion. Die Erstbeschreibung erfolgte 1981 durch Grossbard, der als Komplikation nach ausgeheiltem Morbus Perthes ein Anschlagen des anterolateralen Femurkopfes an den superolateralen Azetabulumrand benennt [39]. Durch den pathologischen Wiederaufbau des Femurkopfes sowie durch die laterale Extrusion kommt es zur Ausbildung eines lateralen Wulstes. Dadurch ist die Kongruenz im Hüftgelenk gestört. Es kommt zum Anstoßen des Wulstes am Pfannenerker. Klinisch geht das Zeichen mit Schmerzen und Bewegungseinschränkung, insbesondere einer eingeschränkten Hüftabduktion, einher. Das Hinge-abduction-Phänomen wird als prognostisch ungünstig bewertet [5].

### **2.6.1 Spezielle Diagnostik: Arthrographie**

Die Hüftarthrographie kann als ergänzende Diagnostik durchgeführt werden, wenn die präoperative fluoroskopische dynamische Untersuchung das Hinge-abduction-Phänomen nicht eindeutig darstellt. Dabei wird durch die intraartikuläre Injektion von Kontrastmittel in das Hüftgelenk der Gelenkraum dargestellt [1]. Unter der radiologischen Darstellung ergibt sich eine dynamische Untersuchung. Dabei können die Form des Femurkopfes sowie die Kongruenz von Hüftkopf und -pfanne bewertet werden. Es kann die Stellung der bestmöglichen Kongruenz ermittelt werden, was eine genauere Planung der Umstellungsosteotomie durch die Entscheidung für den optimalen Valgisationswinkel ermöglicht. Außerdem kann durch die Narkosewirkung die Unterscheidung getroffen werden, ob eine Bewegungseinschränkung knöchern durch eine Deformierung des Hüftkopfes mit Bump oder muskulär durch eine Adduktionskontraktur verursacht wird [1].

Somit ist sie als ergänzende präoperative Diagnostik geeignet und zudem der beste Nachweis eines möglichen Hinge-abduction-Phänomens [3, 29, 40]. Heute bietet die dynamische Kernspintomographie eine gute Alternative [6].

### 3 Material und Methodik

Im folgenden Abschnitt soll näher auf das untersuchte Patientengut sowie die vorgenommenen Untersuchungen und verwendeten Materialien eingegangen werden.

#### 3.1 Patientenkollektiv

In dieser Arbeit wurden alle Patienten der orthopädischen Klinik Großhadern retrospektiv erfasst, die sich im Zeitraum von 2004 bis 2013 einer valgisierenden Umstellungsosteotomie des koxalen Femurendes unterzogen haben. Dabei wurden 75 valgisierende Umstellungsosteotomien des koxalen Femurendes durchgeführt. Ausgeschlossen wurden alle Patienten, die im Rahmen der Erkrankung Epiphyseolysis capitis femoris operiert wurden (N=20) sowie alle Patienten mit hoher neurogener Hüftluxation (N=6). Außerdem wurden sechs Patienten mit palliativem Therapieprozedere in der Auswertung nicht berücksichtigt. Anschließend wurden die restlichen Patienten in zwei Gruppen unterteilt: die Patienten, die im Rahmen ihrer Erkrankung an Morbus Legg-Calvé-Perthes operiert wurden und alle diejenigen, die sich aufgrund einer anderen Diagnose der Valgisationsosteotomie unterzogen haben. Eingeschlossen wurden dann 28 Patienten mit Morbus Perthes und 26 Patienten mit anderer Grunderkrankung. Dabei wurden folgende Grunderkrankungen erfasst:

1. angeborene Systemerkrankungen des Bewegungsapparats
2. bakterielle Infektion des Hüftgelenks
3. idiopathische Achsen- und Torsionsfehler
4. kongenitale Hüftdysplasie und -luxation
5. mediale Schenkelhalsfraktur
6. spastische Zerebralparese

Zu den angeborenen Systemerkrankungen des Bewegungsapparats gehören dabei der kongenitale Femurdefekt, hereditäre Dysplasien wie die teratologische Hüftluxation beim Larsen-Syndrom, dem Phosphat-Diabetes, das Conradi-Hünemann-Happle Syndrom, die Dysplasia spondyloepiphysaria und die kraniookzipitale Dysplasie, außerdem Bindegewebserkrankungen wie das Marfan-Syndrom und Cutis laxa sowie weitere Syndrome wie das Proteus-Syndrom und Fehlbildungssyndrome des Femur-/Fibula-/Ulnakomplexes.

20 Patienten dieser Gruppe wiesen präoperativ eine Coxa vara aus. Die Patientengruppe wurde nach der Ätiologie der Coxa vara in sieben Gruppen unterteilt:

1. coxa vara nach kongenitaler Hüftdysplasie
2. coxa vara nach bakterieller Coxitis
3. coxa vara congenita
4. coxa vara nach Schenkelhalsfraktur
5. coxa vara bei kongenitalem Femurdefekt
6. coxa vara mit Protrusio acetabuli

## 7. Sonstige

Dieses Patientengut weist aufgrund der Grunderkrankung eine Hüftkopfdeformität auf, die der durch Morbus Perthes induzierten Hüftkopfverformung ähnelt. Folglich treten ähnliche Komplikationen wie die Adduktionskontraktur und das Hinge-abduction-Phänomen bei dieser heterogenen Erkrankungsgruppe auf.

Tabelle 7: Ausgangstabelle der Patienten mit Morbus Perthes N=28

	Ge- schlecht	Alter bei Diagnose- stellung	Alter bei OP	Operative Vorbe- handlung	Staging	Catterall	Herring	Stulberg
1	w	8,98	16,17	0	4	-	-	IV
2	m	4,38	6,2	1	3	II	B	IV
3	m	6,65	12,95	1	4	-	-	II
4	m	6,89	8,31	0	2	III	B	IV
5	w	8,2	8,78	0	1	II	C	III
6	m	7,74	10	1	3	IV	C	II
7	m	7,89	12,03	1	4	-	-	III
8	m	10,37	12,11	1	4	-	-	III
9	m	-	14,42	0	2	III	C	IV
10	m	13,65	14,82	0	2	IV	C	V
11	m	7,91	8,45	0	1	II	C	IV
12	m	4,55	6,19	0	2	III	B	I
13	m	7,81	8,73	0	2	III	C	III
14	m	7,3	8,72	1	2	III	C	III
15	m	9,21	10,57	0	2	III	C	V
16	m	7,17	10,57	1	3	II	B	III
17	w	6,39	7,55	0	1	III	C	IV
18	m	7,32	16,25	1	4	-	-	III
19	w	11,72	14,11	0	3	II	B	III
20	m	10,18	12,17	0	2	III	B	III
21	m	8,49	9,33	0	2	III	C	-
22	m	7,85	9	0	2	IV	C	-
23	m	3,2	8,84	0	4	-	-	IV
24	m	6,52	8,74	0	2	III	B	III
25	w	14,92	15,05	0	4	-	-	III
26	m	8,76	9,42	0	2	IV	C	II
27	m	7,55	9,27	1	2	IV	C	III
28	m	8,76	10,02	1	2	III	C	IV

**Geschlecht:** m=männlich, w=weiblich, **operative Vorbehandlung:** 0=keine Vorbehandlung, 1=Vorbehandlung, **Staging:** 1=Kondensationsstadium, 2=Fragmentationsstadium, 3=Reparationsstadium, 4=Endstadium; **Catterall:** Stadium I, II, III und IV; **Herring:** Stadium A, B und C; **Stulberg:** Stadium I, II, III, IV und V; keine Daten vorhanden: „-“

Tabelle 8 Deskriptive Statistik des Patientenkollektivs

Deskriptive Statistik des Patientenkollektivs	
Fallzahl gesamt	28
Verhältnis männlich:weiblich	23:5
Mittelwert Patientenalter bei Diagnosestellung [Jahre]	8,16
Mittelwert Patientenalter bei OP [Jahre]	10,67

Tabelle 9: Ausgangstabelle der Patienten mit anderer Grunderkrankung

	Ge- schlecht	Seite	Alter bei OP	Grunderkrankung	Hauptgruppe	OP- Indikation	OP- Methode
1	w	0	29,28	3	1	5	1
2	m	0	20,34	4	1	3	2
3	m	1	14,65	4	1	3	2
4	w	1	17,12	4	1	3	2
5	w	1	12,48	5	4	4	1
6	w	0	3,83	1	5	2	5
7	m	1	8,79	4	2	1	2
8	m	1	8,77	1	7	3	2
9	w	1	11,21	1	6	2	1
10	m	1	15,68	4	1	3	5
11	m	1	12,63	1	7	3	5
12	m	1	21,76	1	7	1	1
13	m	0	22,25	1	7	1	1
14	m	1	15,02	1	5	3	2
15	w	0	18,41	1	5	6	5
16	w	1	17,15	2	2	3	1
17	m	0	39,79	6	7	1	1
18	w	1	11,39	4	1	3	2
19	w	0	5,08	1	3	2	5
20	w	1	5,08	1	3	2	5
21	w	0	4,42	1	3	2	2
22	w	1	4,42	1	3	2	5
23	m	1	15,86	2	2	4	3
24	m	0	19,11	3	6	1	1
25	m	1	14,32	5	4	1	3
26	w	1	6,14	1	2	3	4

**Geschlecht:** m=männlich, w=weiblich

**Seite:** 0=rechts, 1=links

**Grunderkrankung:** 1=angeborene Systemerkrankungen des Bewegungsapparats, 2=bakterielle Infektion des Hüftgelenks, 3=idiopathische Achsen- und Torsionsfehler, 4=kongenitale Hüftdysplasie und -luxation, 5=mediale Schenkelhalsfraktur, 6=spastische Zerebralparese

**Hauptgruppe:** 1=Coxa vara nach kongenitaler Hüftluxation, 2=Coxa vara nach bakterieller Coxitis, 3=Coxa vara congenita, 4=Coxa vara nach Schenkelhalsfraktur, 5=Coxa vara bei kongenitalem Femurdefekt, 6=Coxa vara mit Protrusio acetabuli, 7=sonstige Ätiologie der Coxa vara

**OP-Indikation:** 1=Adduktionskontraktur, 2=Biomechanik, 3=Hinge-abduction-Phänomen, 4=Verbesserung des Containments, 5=subjektive Beschwerden, 6=Hüftgelenksinstabilität bei instabiler Pseudarthrose

**OP-Methode:** 1=intertrochantäre Valgisationsosteotomie, 2=intertrochantäre einstachende Valgisationsosteotomie, 3=subtrochantäre Valgisationsosteotomie, 4=subtrochantäre Angulationsosteotomie, 5=subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation

## 3.2 Untersuchung der Krankenakten

Die Krankenakten und elektronischen Unterlagen im Patientenverwaltungsprogramm SAP des Patientenkollektivs mit Morbus Legg-Calvé-Perthes wurden auf anamnestische und klinische Hinweise durchsucht. Die dabei verwendeten Variablen sind das Geschlecht, die erkrankte Seite und eine im Verlauf beidseits auftretende Erkrankung. Aus den vorliegenden Daten wurde das Alter bei Erkrankungsbeginn und zum OP-Zeitpunkt errechnet. Außerdem wurden durchgeführte konservative und operative Therapieverfahren notiert. Als konservative Therapieverfahren wurden eine analgetische Therapie, eine ambulante oder stationäre Physiotherapie, die entlastende Therapie mit Unterarmgehstützen, Entlastungsothesen und abduzierende Orthesen und weitere Verfahren wie Osteopathie und balneophysikalische Maßnahmen gewertet. Als primär durchgeführte operative Therapien wurden die varisierende Femurosteotomie, die Beckenosteotomie und Adduktorenentomie notiert. Die valgusierende Femurosteotomie wurde mit ihren ergänzenden Zusätzen sowie Komplikationen anhand der Operationsberichte und der postoperativen Krankengeschichte erfasst.

## 3.3 Klassifikation der Perthes Erkrankung

Die Klassifikation nach Waldenström wurde nach den oben genannten Kriterien im letzten präoperativen Röntgenbild vorgenommen.

Die Einteilung nach den Kriterien nach Catterall und Herring wurde ebenfalls im letzten präoperativen Röntgenbild angewandt, sofern sich dann der zu untersuchende Patient nicht im Endzustand nach Waldenström befand.

Die Stulberg-Klassifikation erfolgte im ausgeheilten Stadium der Erkrankung auf dem zum Untersuchungszeitraum aktuellsten vorliegenden Röntgenbild.

## 3.4 Fragebögen

Um den Gesundheitszustand der Patienten vergleichen zu können, wurde ein Fragenkatalog entwickelt und den Patienten mit Morbus Perthes postoperativ zugesandt. Der Fragenkatalog soll den klinischen Zustand der operierten Hüfte und die gesundheitsbezogene Lebensqualität untersuchen.

Dabei wurden folgende Fragebögen verwendet:

### 3.4.1 Modified Harris Hip Score

Mit diesen acht Fragen wird der aktuelle Zustand der behandelten Hüfte, beziehungsweise der Zustand in den letzten sieben Tagen beurteilt. Dabei werden die Kategorien Schmerz (44 Punkte) und Funktion (47 Punkte) überprüft. Die Funktion umfasst dabei die Aktivität im Alltag sowie die Gehfähigkeit. Die Fragen enthalten dabei je nach Frage ein Skalenniveau von eins bis fünf. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird das Ergebnis mit 1,1 multipliziert, um eine maximale Punktzahl von 100 zu erreichen.

Im Gegensatz zum originalen Fragenkatalog des Harris Hip Score werden dabei die Mobilität und Deformität nicht überprüft, da diese vom Behandler gemessen werden sollen und somit nicht vom Patienten selbst zu bestimmen sind [41, 42]. Es handelt sich bei diesem Fragenkatalog um eine anerkannte Methode, um subjektive Messeigenschaften zu quantifizieren [42].

Die Ergebnisse können wie folgt eingeordnet werden:

Exzellentes Ergebnis (oder Funktionsstatus):	90-100 Punkte
Gutes Ergebnis (oder Funktionsstatus):	80-89 Punkte
Durchschnittliches Ergebnis (oder Funktionsstatus):	70-79 Punkte
Schlechtes Ergebnis (oder Funktionsstatus):	<70 Punkte [41]

### 3.4.2 Kidscreen-10

Dieser Fragenkatalog ist eine Kurzversion des Kidscreen-52 und beschreibt durch zehn Fragen die gesundheitsbezogene Lebensqualität in der vergangenen Woche. Dabei werden der subjektive Gesundheitszustand und das Wohlbefinden der Kinder und Jugendlichen unter Berücksichtigung emotionaler und sozialer Aspekte beurteilt. Die Antworten werden auf einer bipolaren Skala in fünf Stufen erfasst.

Die Auswertung erfolgt nach den Richtlinien der Autoren zum Vergleich mit den Normdaten der europäischen Vergleichsgruppe wie folgt:

Die Ergebnisse der Antworten wurden umcodiert, sodass ein höherer Wert einem besseren Ergebnis entspricht. Die Punkte der einzelnen Antworten wurden aufsummiert und in die nach Rasch geschätzten Personenparameter umgeschrieben. Aus den Personenparametern werden T-Werte berechnet, welche sich auf die ganze Kidscreen-Studie beziehen. Dabei ist der Mittelwert 50, die Standardabweichung 10. Ein hoher T-Wert spricht für eine gute gesundheitsbezogene Lebensqualität, ein niedriger T-Wert für eine schlechte Lebensqualität [43, 44, 45, 46].

### 3.4.3 Gesundheitszustand

Des Weiteren wurden die Patienten gebeten, ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen einzuschätzen. Dabei standen die Antwortmöglichkeiten „ausgezeichnet“, „seht gut“, „gut“, „weniger gut“ und „schlecht“ zur Auswahl.

## 3.5 Untersuchung der klinischen Zeichen

Im Rahmen der ambulanten und stationären Vorstellung der Patienten wurden bei der klinischen Untersuchung der Bewegungsumfang des Hüftgelenks sowie eine Beinlängendifferenz untersucht.

Dabei wurden die Hüftabduktion und die Innenrotation im Hüftgelenk nach der Neutral-Null-Methode bestimmt. Das Vorliegen einer Beinlängendifferenz wurde durch Unterlage von

Holzbrettchen mit unterschiedlicher Dicke bestimmt. Der Wert, bei dem sich die Cristae iliacae auf gleicher Höhe befinden, gibt den Unterschied der Beinlänge an.

### **3.6 Untersuchung der Röntgenaufnahmen**

Zur Auswertung wurden jeweils die vorhanden a.p. Beckenübersichtsaufnahmen der Patienten präoperativ, postoperativ sowie das aktuellste Röntgenbild verwendet. Dabei befand sich die Hüfte in neutraler Rotation und neutraler Abduktion und Adduktion.

Die Bestimmung der folgenden Röntgenparameter wurden mit Hilfe der Nachverarbeitungssoftware des Picture Archiving and Communication System PACS durchgeführt.

#### **3.6.1 Projizierter CCD-Winkel (Centrum-Collum-Diaphysen-Winkel)**

Die allgemein anerkannte Bestimmung des Schenkelhals-Schaft-Winkels wurde von Müller 1957 beschrieben [47]. Der Winkelwert wird deshalb als projiziert bezeichnet, da er bei abweichender Neutralstellung während der Röntgenaufnahme verfälscht werden kann.

Zuerst wird der Hüftkopfmittelpunkt (M) mit Hilfe einer Kreisschablone bestimmt und markiert. Da die Ermittlung bei noch nicht vollständiger knöcherner Durchbauung bei Kindern oder bei entrundeter Epiphyse zu Schwierigkeiten führen kann, nennt Müller dafür noch weitere Bezugspunkte. Auch durch die Verbindung des am weitesten lateral gelegenen Punktes der Kopfepiphyse und dem unteren medialen Punkt des kopfbildenden Schenkelhalsanteils kann eine Bestimmung des Kopfschwerpunkts erfolgen.

In dieser Arbeit wurde anschließend der Durchmesser der Kreisschablone so weit vergrößert, bis ein Schnittpunkt mit dem tiefsten Punkt der lateralen Begrenzung des Schenkelhalses (A) und dem entsprechenden Punkt am medialen Schenkelhalsrand (B) entstand. Diese zwei Schnittpunkte wurden verbunden (Strecke AB). Die Senkrechte auf dieser Verbindungslinie (1) durch das Hüftkopfschwerpunkt ergibt zusammen mit der Femurschaftachse (2) den gesuchten CCD-Winkel.

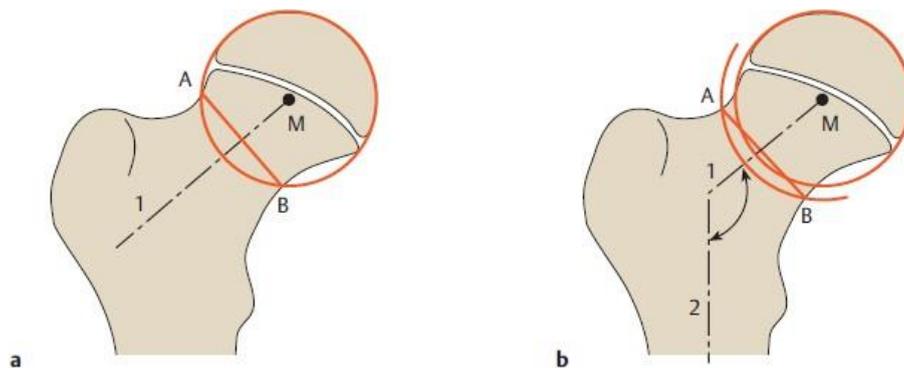


Abbildung 5: Bestimmung des CCD-Winkels nach M.E. Müller

Mit Hilfe einer Kreisschablone erhält man durch Schnittpunkte die Strecke AB, Winkel zwischen der Linie durch den Hüftkopfmittelpunkt und Schenkelhals (1) mit der Linie durch die Femurschaftachse (2) ergibt den CCD-Winkel

Quelle: Waldt et al. 2011, S. 11 [48]

Da bei dem vorliegenden Patientenkollektiv gehäuft Hirtenstab-Deformitäten des koxalen Femurendes vorliegen, wurde bei eben dieser Pathologie eine spezielle Methode zur Bestimmung der Schenkelhalsachse verwendet [47, 49].

Den kranialen Bezugspunkt bildet die laterale Schenkelhalsbegrenzung. Im gleichen Abstand zum Kopfmittelpunkt wird der kaudale Bezugspunkt bestimmt. Dieser liegt auf einer Senkrechten zur Femurschaftachse in der Intertrochantergegend, welche eine Tangente an der kaudalen Begrenzung des Schenkelhalses bildet. Die Verbindungslinie zwischen Kopfmittelpunkt und dem Mittelpunkt der kranialen und kaudalen Schenkelhalsbegrenzung ergibt die Schenkelhalsachse. Diese bildet mit der Femurschaftachse den gesuchten CCD-Winkel.

Bei Winkelwerten kleiner  $120^\circ$  spricht man von einer Coxa vara, Werte größer  $135^\circ$  bezeichnen eine Coxa valga [50].

### 3.6.2 Pelvic Tilt

Messwerte zur lateralen Beckenverkipfung tauchen in der Literatur im Zusammenhang mit dem Thema Skoliose auf [51, 52, 53]. Sie beschreiben den Höhenunterschied der Beckenkämme als direkten Messwert oder als Winkel in Relation zur Verbindungslinie der Köhler-Tränenfiguren [54, 55].

Dabei wird ein Beckenschiefstand vor allem im Zusammenhang mit der Beinlängendifferenz und Messwerten der kaudalen Wirbelsäule im Rahmen der Skoliose und lumbaler Rückenschmerzen untersucht [54, 56, 57].

Durch die Beckenverkipfung entsteht eine veränderte Biomechanik aufgrund einer veränderten Länge der Hüftabduktoren [58]. Eine Beckenverkipfung kann durch eine

Beinlängendifferenz verursacht sein [58], durch ein muskuläres Ungleichgewicht, eine Insuffizienz der Hüftabduktoren oder Weichteilkontrakturen [53, 59].

Die Insuffizienz der Hüftabduktoren kann als Äquivalent zu einer Hüftadduktion gesehen werden [53].

In dieser Arbeit führen wir als neuen Messwert zur Beurteilung einer Hüftadduktionsstellung den Pelvic Tilt ein. Dazu benötigt man die Verbindungslinie der beiden Cristae iliacae. Der Winkel bildet sich zwischen dieser Verbindungslinie und der jeweiligen Femurschaftachse. Als Normwert gilt ein Winkel von 83°.

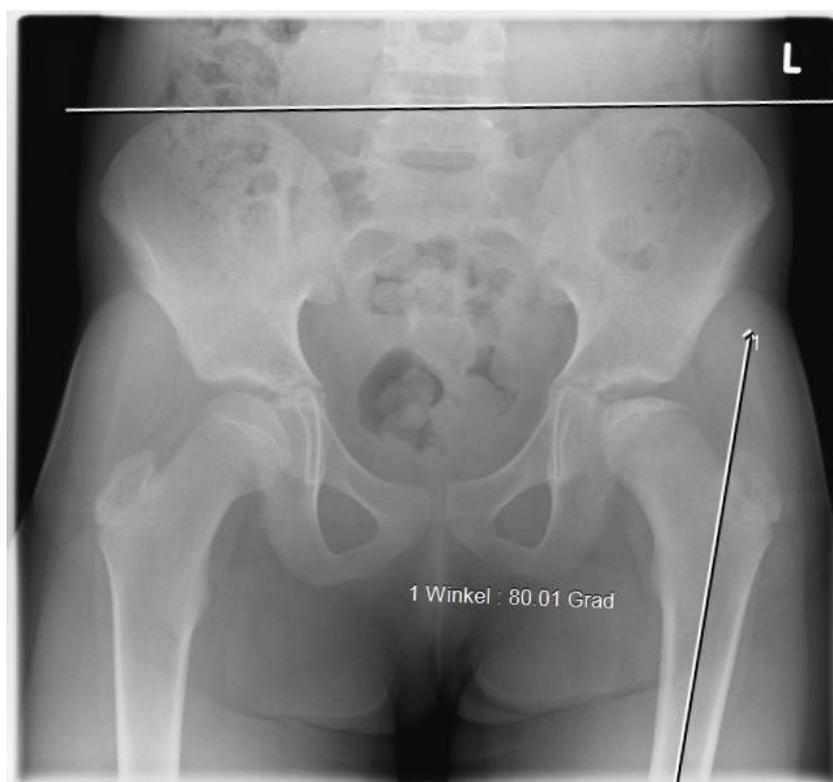


Abbildung 6: Bestimmung des Pelvic Tilt zwischen der Verbindungslinie der Cristae iliacae und der Femurschaftachse

Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

### 3.6.3 Extrusionszeichen

Der Acetabulum-Head-Quotient, der Epiphyseal-Extrusion-Index und die Tear-Drop-Distance können als Zeichen für die laterale Extrusion des Hüftkopfes gewertet werden.

#### 3.6.3.1 Acetabulum-Head-Quotient

Um diesen Wert zu erhalten, muss zuerst der Acetabular-Head-Index bestimmt werden. Dieser definiert sich als das Verhältnis zweier horizontaler Linien in Prozent. Die erste Linie verläuft dabei von der am weitesten medial gelegenen Femurkopfbegrenzung bis zur Linie nach Ombrédanne und Perkins. Die zweite verbindet auf gleicher Höhe die mediale und laterale Begrenzung des Femurkopfes [60]. Somit wird die Überdachung des knöchernen Hüftkerns in

Bezug auf das knöcherne Azetabulum verglichen. Der Acetabulum-Head-Quotient ergibt sich folglich als der Acetabular-Head-Index der an Morbus Perthes erkrankten Seite dividiert durch den Acetabular-Head-Index der gesunden Seite [61]. Daraus ergeben sich Rückschlüsse auf die proportionale Größe des Femurkopfes zum Azetabulum, beziehungsweise ein proportionales Missverhältnis und eine mögliche laterale Subluxation. Durch den Vergleich mit der Gegenseite ergibt sich dabei eine relative Messung, welche kleinere Messungenauigkeiten relativieren kann. Als Normwerte fand Heyman, dass die Kopfüberdachung im Schnitt bei 90% liegt, jedoch zwischen 70 und 100% variiert [62].

### **3.6.3.2 Epiphyseal-Extrusion-Index**

Der Epiphyseal-Extrusion-Index nach den Autoren Green, Beauchamp und Griffin ergibt sich aus der Messung des ossifizierten Hüftkopfkerns auf der erkrankten Seite mit Hilfe einer Lotrechten lateral der Linie nach Ombrédanne und Perkins in Millimeter. Dieser Wert wird durch die Breite der Epiphyse auf der gesunden Gegenseite dividiert [61]. Wird anschließend das Ergebnis des Quotienten mit 100 multipliziert, erhält man den prozentualen Anteil des Hüftkopfes, der das Azetabulum überragt [63].

Nach Green [63] lässt sich mit Hilfe des Epiphyseal-Extrusion-Index eine Aussage über die Prognose der an Morbus Perthes erkrankten Patienten treffen: bei einem Wert kleiner 20% ist mit einer guten Prognose zu rechnen. Eine noch bessere prognostische Aussage lässt sich im Zusammenhang mit dem Stadium nach Catterall und dem Erkrankungsalter treffen.

### **3.6.3.3 Tear-Drop-Distance**

Dieser Wert bezeichnet den horizontal gemessenen Abstand zwischen dem am weitesten lateral gelegenen Punkt der Köhler'schen Tränenfigur und dem medialen Rand der proximalen Femurepiphyse im a.p.-Röntgenbild [64].

Bereits Waldenström [65] und Sundt [66] sahen die Vergrößerung des infero-medialen Gelenkspaltes als eines der frühesten radiologischen Zeichen der Perthes-Erkrankung. Catterall beschrieb es des Weiteren als Risikozeichen für den Krankheitsverlauf, da es als Maß für die laterale Extrusion des Kopfes betrachtet werden kann [67].

Als pathologisch gilt eine Zunahme der Tear-Drop-Distance über 11 Millimeter oder ein Unterschied zwischen den beiden Seiten von mehr als 2 Millimeter [64]. Dabei ist das Ergebnis jedoch nicht spezifisch für die Erkrankung des Legg-Calvé-Perthes, sondern weist nur allgemein auf einen pathologischen Prozess der Hüfte hin.

### **3.6.4 Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp)**

Dieser Winkel gibt den Grad der Pfannenneigung zur Horizontalebene an [35]. Zur Berechnung des Pfannenneigungswinkels nach Ullmann, Sharp, Stulberg und Harris wurde zuerst die Verbindungslinie der Unterränder der beiden Köhler'schen-Tränenfiguren benötigt, welche eine horizontale Linie bilden soll. Der Winkel ergibt sich jeweils in einer weiteren

Verbindungsline von der Köhler-Tränenfigur aus zum Pfannenenerker [35]. Bei Hellinger [49] finden sich folgende Normwerte für die entsprechenden Altersgruppen:

Tabelle 10: Normwerte des Pfannenneigungswinkels

Alter [J]	Normwert (Mittelwert)
<11	46
11-13	44
13-14	42
>14	40

Quelle: Hellinger 1995 [49]

### 3.6.5 Articulo-Trochanteric-Distance

In früheren Werken zur Legg-Calvé-Perthes Erkrankung stieß man des Häufigeren auf Beschreibungen oder Abbildungen eines weit nach kranial reichenden Trochanter major, welcher teilweise sogar das proximale Ende des Femurkopfes überragte [10, 68, 69, 70, 71]. Die erste Erläuterung dieser Pathologie gab Edgren 1965. Ursächlich sei ein vorzeitiger Verschluss der subkapitalen Wachstumsfuge, welcher zu einem überproportionalen Wachstum des Trochanter major führe. Zur Bestimmung des Ausmaßes definierte er den Messwert „Articulo-Trochanteric-Distance (ATD)“. Dazu bestimmt er jeweils zwei horizontale Linien senkrecht zur Longitudinalachse der Femurdiaphyse. Die erste liegt dem knöchernen Anteil des Trochanter major auf, die andere dem des Femurkopfes. Der Abstand der beiden horizontalen Linien wird in Millimeter bestimmt [72].

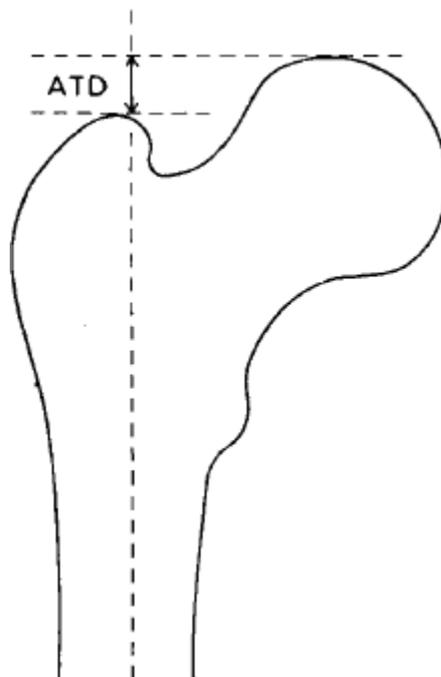


Abbildung 7: Bestimmung der ATD als Abstand zwischen Femurkopf und Trochanter major, jeweils senkrecht zur Femurlongitudinale

Quelle: Edgren 1965 [73]

Je nachdem, ob der Trochanter major dabei den Femurkopf nach kranial überragt oder nicht, entsteht dabei ein negativer, beziehungsweise positiver Wert. Somit soll der von der Norm abweichende Grad der Position des Trochanter major angegeben werden können [72].

Normwerte ergeben sich nach Langenskiöld und Salenius [72] folgende:

Als Mittelwert einer gesunden Hüfte erhalten Langenskiöld und Salenius 16 beziehungsweise 23 mm und eine Standardabweichung von 3,6 beziehungsweise 4,5 mm je nach Geschlecht:

Tabelle 11: Normwerte der ATD

	Alter [Jahre]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]	95%-Intervall
Mädchen	5-13	16	3,6	9-23
Jungen	5-13	23	4,5	14-32

Quelle: Langenskiöld und Salenius 1967 [72]

Bei der Messung und Auswertung muss beachtet werden, dass sich die ATD bei außenrotiertem Femur erhöht und bei einer Innenrotation verkleinert erscheint.

### 3.6.6 Deformity Index nach Nelson

Der Deformity Index wurde von den Autoren Nelson et al. 2007 [74] beschrieben um als Alternative zur Stulberg-Klassifikation eine Vorhersage über die Entwicklung des Femurkopfes treffen zu können. Er beschreibt die Veränderungen der femoralen Epiphysenhöhe und -breite im Vergleich zur gesunden Gegenseite. Dabei ist ein Wert kleiner 0,3 mit einem asphärischen Femurkopf assoziiert. Die Messung soll laut Autoren bevorzugt in der Reparationsphase durchgeführt werden, um eine bestmögliche Vorhersage zu erzielen.

Yoo et al. [31] definieren in ihrer Arbeit die Änderung des Wertes von präoperativ zum Nachuntersuchungszeitraum als das Remodeling des Femurkopfes.

In der Arbeit wurde zur Bestimmung das Programm Adobe Photoshop Elements Version 8.0 verwendet. Dazu wurden jeweils die prä- und postoperativen sowie die aktuellen Röntgenbilder importiert und auf der kranken Seite der Hüftkopf zusammen mit einem Teil des Schenkelhalses freigestellt, kopiert und gespiegelt. Dann wurde diese Kopie auf die gesunde Seite aufgelegt und dessen Transparenz erhöht. Dabei wurden als Bezugspunkt die mediale Epiphyse und der Kalkar verwendet. Dann wurde zur Vereinfachung der Messung die Kopie des kranken Hüftkopfes eingefärbt und der größte Unterschied in der Höhe und Breite der Hüftköpfe jeweils senkrecht beziehungsweise waagrecht gemessen. Diese Daten wurden addiert und durch die gemessene Weite der gesunden Epiphysenfuge geteilt, um den gesuchten Index zu erhalten [74]. Da zum Vergleichen die gesunde Gegenseite benötigt wird, ist bei beidseits auftretender Erkrankung die Messung nicht durchführbar.

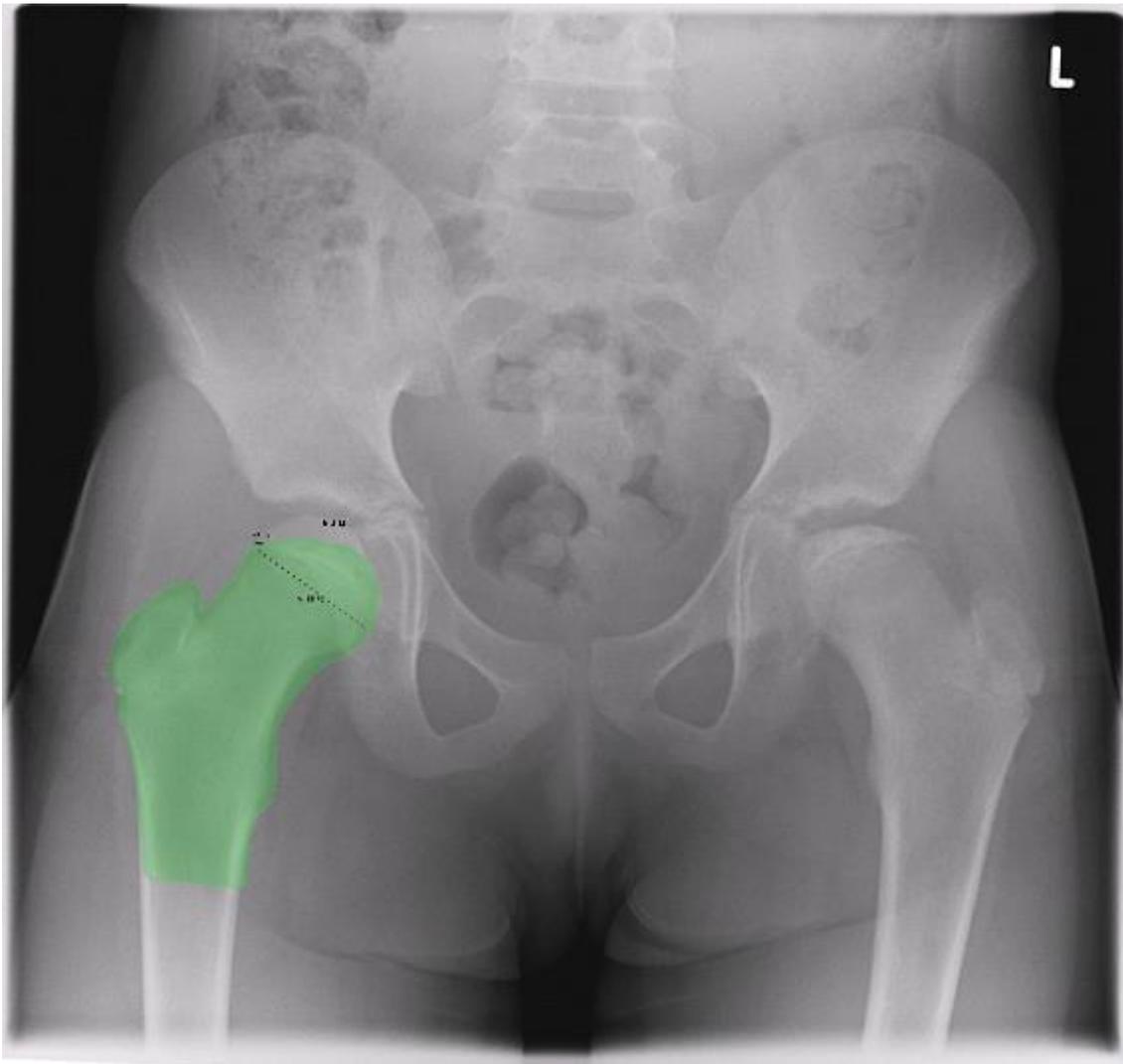


Abbildung 8: Bestimmung des Deformity Index nach Nelson mit Hilfe einer Schablone des erkrankten Femurs

Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München, bearbeitet mittels Adobe Photoshop Elements

### 3.6.7 Moses Sphericity Index

Bereits Goff entwickelte die Idee, die Form über der Oberfläche der Epiphyse zu beschreiben. Moses verfeinerte diesen Ansatz, indem er eine Schablone auf transparentem Untergrund entwickelte. Diese war aus konzentrischen Kreisen um einen Mittelpunkt aufgebaut, deren Radius sich konstant vergrößerte. Diese Schablone kann jeweils auf eine a.p.-Röntgenaufnahme und eine seitliche Röntgenaufnahme gelegt werden. Weicht dabei die Kontur des Hüftkopfes mehr als zwei bzw. einen Millimeter von der Schablone ab, wird der Hüftkopf als „irregulär“ definiert.

Jedoch erkennt bereits Moses selbst, dass von den verbleibenden vermeintlich sphärischen Hüftköpfen keineswegs alle perfekt rund sind. Deswegen empfiehlt er noch weitere Methoden durchzuführen, um diese „pathologisch sphärischen“ Köpfe herauszufiltern [9].

Im Rahmen der Arbeit wurde zur Untersuchung der sphärischen Hüftköpfe zuerst der Hüftkopfmittelpunkt gewählt. Dann wurde mit dem Programm ein Kreis um den Femurkopf

gelegt. Lagen nun Teile des Kopfes nicht in einem Kreis mit einem ein Millimeter größerem Radius, wurde der Hüftkopf als irregulär deklariert.

### 3.6.8 CE-Winkel

Für die Beurteilung der Kopf-Pfannen-Beziehung in der Frontalebene ist der Zentrum-Ecken-Winkel (CE-Winkel) nach Wiberg hilfreich. Somit kann das Ausmaß der Überdachung des Hüftkopfes bestimmt werden. Der Winkel ergibt sich zum einen aus einer Parallelen zur Körperlängsachse und der Verbindungslinie von Hüftkopfmittelpunkt und Pfannendacherker. Im Folgenden wurde statt der Parallelen der Körperlängsachse die Senkrechte zur Verbindungslinie der Beckenkämme gewählt. Damit sollte eine Verkipfung des Beckens relativiert werden.

Je kleiner und steiler die Pfanne ist, desto kleiner wird der Winkel. Bei einer Subluxation kann er folglich auch Werte von 0° annehmen oder sogar negativ werden.

Die Normwerte hat Tönnis [35] als Folgende zusammengefasst:

Tabelle 12: Normwerte des CE-Winkels

Alter	Mittelwert der Gesunden
5-8 Jahre	25°
9-12 Jahre	30°
ab 13 Jahre	35°

Quelle: Tönnis 1984 [35]

### 3.6.9 Migrationsindex nach Reimers

Erste Verwendungen des Ausdrucks „la migrazione“ sind von Mezzari 1928 [75] bekannt. Dieser beschrieb damit die verschiedenen Verhältnisse des Femurkopfes zum Azetabulum. In der englischen Literatur fand der Begriff 1953 bei Mathews et al. [76] Verwendung.

Reimers wollte 1980 [77] eine Methode schaffen, welche bei einer standardisierten Röntgenaufnahme reproduzierbare Ergebnisse liefert. Er bezeichnete den Messwert als „Migration Percentage“, vor allem um die dynamische Komponente des Wertes zu betonen. Dabei soll, vergleichbar zu den früheren Intentionen, eine Aussage über die Position des Femurkopfes im Azetabulum getroffen werden können.

Zur Bestimmung des Wertes wird in einer horizontalen Ebene, parallel zur Hilgenreiner-Linie, der Anteil des Femurkopfes gemessen, welcher die Perkins-Linie nach lateral überragt. Wird ebenfalls die gesamte Breite des Hüftkopfes auf der horizontalen Linie bestimmt, lässt sich dann die prozentuale Tiefeneinstellung des Hüftkopfes beurteilen:  $\frac{a}{b} \cdot 100\%$  [35, 77].

Ein weiteres Merkmal des Migrationsindex ist, dass er unabhängig von der Beckendrehung, aber auch von der Femurrotation ist [35, 77].

Tönnis [35] fasste folgende ableitbare Normwerte zusammen:

Tabelle 13: Normwerte des Migrationsindex nach Reimers

		Normwert (%)
Normales Hüftgelenk	Alter <14 Jahre	0
	Alter 4 bis 16 Jahre	<10
Subluxiertes Hüftgelenk		33-99
Luxiertes Hüftgelenk		100

Quelle: Tönnis 1984 [35]

### 3.7 Hüftarthrographien

Im Rahmen der Diagnostik wurde bei allen Patienten eine intraoperative Fluoroskopie durchgeführt um die Hüftgelenksstellung zu beurteilen.

Ergab sich päoperativ ein nicht eindeutiger Befund wurde ergänzend eine zusätzliche, präoperative Arthrographie durchgeführt. Dies war bei 15 Patienten der Fall.

#### 3.7.1 Hinge-abduction-Phänomen

Das Hinge-abduction-Phänomen beschreibt ein Anschlagen des übergroßen, extrudierten Hüftkopfes am Labrum acetabuli in Hüftabduktion. Der Nachweis erfolgte mittels Arthrographie welche eine dynamische Untersuchung des Hüftgelenks unter Durchleuchtung ermöglicht.

### 3.8 Operationsindikation

Die Indikation für die Durchführung der valgisierenden Femurosteotomie war bei den Patienten mit Morbus Perthes dann gegeben, wenn sich in der dynamischen Hüftuntersuchung eine verbesserte Kongruenzsituation in der Hüftadduktion zeigt.

In der Vergleichsgruppe wurden die Faktoren Adduktionskontraktur, Biomechanik, Hinge-abduction-Phänomen, Verbesserung des Containments, subjektive Beschwerden und Hüftgelenksinstabilität bei instabiler Pseudarthrose berücksichtigt.

### 3.9 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung wurde mit dem Datenanalyseprogramm IBM SPSS Statistics (Version 23) für Windows durchgeführt. Das Signifikanzniveau beträgt  $p=0,05$ . Das Vorliegen der Normalverteilung wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk Test getestet. Der Vergleich von Mittelwerten zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgte bei abhängigen Stichproben mit dem T-Test bei verbundenen Stichproben. Untergruppen ließen sich mit dem T-Test bei unabhängigen Stichproben vergleichen.

Die Korrelation wurde bei intervallskalierten und normalverteilten Variablen mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet, bei nicht normalverteilten Daten mit dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman oder Kendalls Tau.

Die Auswertung des Kidscreen-10-Fragebogens erfolgt mittels des geschätzten Personenparameters nach Rasch.

## 4 Ergebnisse der eigenen Untersuchung

### 4.1 Patientenkollektiv

In dieser Arbeit wurden alle Patienten der orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums Großhadern retrospektiv erfasst, an welchen im Zeitraum von 2004 bis 2013 (01.01.2004 bis 05.07.2013) eine valgisierende Umstellungsosteotomie des koxalen Femurendes durchgeführt wurde.

Von den in diesem Zeitraum durchgeführten 190 Umstellungsosteotomien des koxalen Femurendes bilden 28 Patienten die Studiengruppe, welche aufgrund ihrer Erkrankung an Morbus Perthes einer koxalen Femurvalgisation unterzogen wurden.

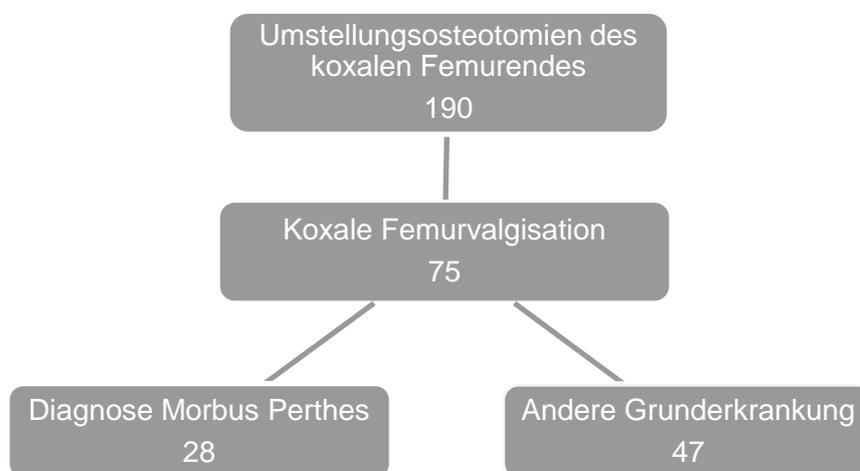


Abbildung 9: Durchgeführte Umstellungsosteotomien des koxalen Femurendes im Klinikum Großhadern 2004 bis 2013, Aufteilung nach Diagnose  
Quelle: eigene Darstellung

### 4.2 Auswertung der Patienten mit Morbus Perthes

Die Arbeit behandelt 28 Patienten, davon sind 23 männlich und fünf weiblich. Drei Patienten sind im Verlauf auch an der gegenseitigen Hüfte erkrankt.

Mittelwert des Patientenalters bei Diagnosestellung ist 8,16 Jahre (3,2 bis 14,92).

Im Mittel unterzogen sich die Patienten 2,37 Jahre nach Diagnosestellung der koxalen Femurvalgisation (0,14 bis 8,93). Somit beträgt das Alter zum Operationszeitpunkt 10,67 Jahre (6,19 bis 16,25).

Die Verteilung des Krankheitsverlaufs erfolgt in folgender Tabelle:

Tabelle 14: Auswertung der Patienten nach den Krankheitsstadien nach Waldenström

Staging	Anzahl (N=28)	Prozent (%)
Kondensationsstadium	3	10,7
Fragmentationsstadium	14	50,0
Reparationsstadium	4	14,3
Endstadium	7	25,0

Bei den sieben Patienten im Endstadium konnte somit kein Grading anhand der Klassifikation nach Catterall und der Lateral Pillar Klassifikation nach Herring erfolgen.

Folgende Tabelle gruppiert die 21 Patienten nach Catterall Stadium und der Lateral Pillar Klassifikation:

Tabelle 15: Auswertung der Patienten nach der Klassifikation von Catterall und Herring

Grading		Anzahl (N=21)	Prozent (%)
Catterall	I	0	0
	II	5	17,9
	III	11	39,3
	IV	5	17,9
Herring	A	0	0
	B	7	25,0
	C	14	50,0

Eine konservative Vorbehandlung wurde bei allen Patienten durchgeführt. Dazu wurden ambulante und stationäre Maßnahmen gezählt, welche der analgetischen Kompensation, dem Bewegungserhalt des Hüftgelenks oder der Verbesserung der Hüftgelenksbeweglichkeit oder der vorübergehenden Entlastung dienen.

Zehn Patienten erhielten auf der betroffenen Seite eine der koxalen Femurvalgisation vorausgehende Operation:

Tabelle 16: Auflistung der vorausgehenden operativen Eingriffe

Vorausgehender Eingriff	Anzahl (N=10)	Prozent (%)
Beckenosteotomie	2	10,7
Proximale Femurvarisation	6	25,0
Adduktorentenotomie	1	3,6
Beckenosteotomie und prox. Femurvarisation	1	3,6

Bei 22 Patienten wurde die valgisierende Femurosteotomie durch eine assoziierte Methode ergänzt:

Tabelle 17: Auflistung des Operationszusatzes mit Wertangaben

Assoziierte Komponente	Anzahl (N=22)	Prozent (%)	Mittelwert	Minimum	Maximum
Rotation	17	60,7	19,3°	10,0°	45,0°
Extension	5	17,9	22,0°	15,0°	30,0°
Verkürzung	8	28,6	1,0 cm	0,5 cm	1,5 cm

Bei neun Patienten wurde in gleicher Sitzung ergänzend eine Beckenosteotomie angewandt. Das koxale Femurende wurde nach radiologischer Messung im Mittel um 22,9° valgisiert (-10,3 bis 43,1). Laut des Operationsberichts beträgt der zu erwartende Mittelwert der Valgisation 28,2° (12,0 bis 40,0).

In vier Fällen kam es postoperativ zu Komplikationen. Dazu zählen:

- Plattenausbruch
- Schraubenbruch bei verzögerter Knochenheilung
- Knochenatrophie
- Adduktionskontraktur bei narbigen Verwachsungen zwischen dem Musculus vastus lateralis und dem Tractus iliotibialis

Im erstgenannten Fall wurde ein Revisionseingriff als unmittelbare Folge der Komplikation notwendig, um das initiale Operationsergebnis wiederherzustellen.

Ergänzend wurden nach der valgusierenden Femurosteotomie Eingriffe durchgeführt, welche zwar im Zusammenhang mit der Erkrankung stehen, jedoch in ihrer Art nicht der Umstellungsosteotomie gleichen:

Tabelle 18: Auflistung der Folgeeingriffe mit Indikation

<b>Folgeeingriff</b>	<b>Indikation</b>
Partielle Synovektomie, Kapselrelease, Abtragung knöcherner Bump, Debridement und Knorpelshaving zentrales Kompartiment	Adduktionskontraktur, präarthrotische Veränderungen, Hinge-abduction-Phänomen
Implantation einer zementfreien Hüft-TEP, Adduktorentenotomie, Flexorentenotomie am Trochanter minor	Coxarthrose
Arthroskopie mit Bump-Resektion	Hinge-aduction-Phänomen
Beckenosteotomie nach Salter	Inkongruenz mit symptomatischer Präarthrose
Beckenosteotomie nach Salter	Inkongruenz

Diese Eingriffe wurden im Mittel nach 3,0 Jahren (0,5 bis 4,7) ergänzt.

Der Nachuntersuchungszeitraum beträgt im Mittel 5,5 Jahre (1,0 bis 10,5).

#### 4.2.1 Fragebögen

Die Rücklaufquote der Fragebögen beträgt bei den 28 Patienten 53,6%.

Dabei ergaben sich für die durchgeführten Tests folgende Ergebnisse:

##### 4.2.1.1 Modified Harris Hip Score

Folgende Tabelle beschreibt das Ergebnis des Gesundheitszustands der betroffenen Hüfte:

Tabelle 19: Ergebnisse des mHHS der operierten Hüfte

<b>Ergebnis</b>	<b>Punkte</b>	<b>Anzahl N=15</b>
Exzellentes Ergebnis (oder Funktionsstatus)	90-100	11
Gutes Ergebnis (oder Funktionsstatus)	80-89	2
Durchschnittliches Ergebnis (oder Funktionsstatus)	70-79	0
Schlechtes Ergebnis (oder Funktionsstatus)	<70	2

Der Mittelwert der 15 ausgewerteten Bögen beträgt 92 Punkte.

Untersucht man die beiden großen Kategorien „Schmerz“ und „Funktion“ im Speziellen, ergibt sich folgende Auswertung:

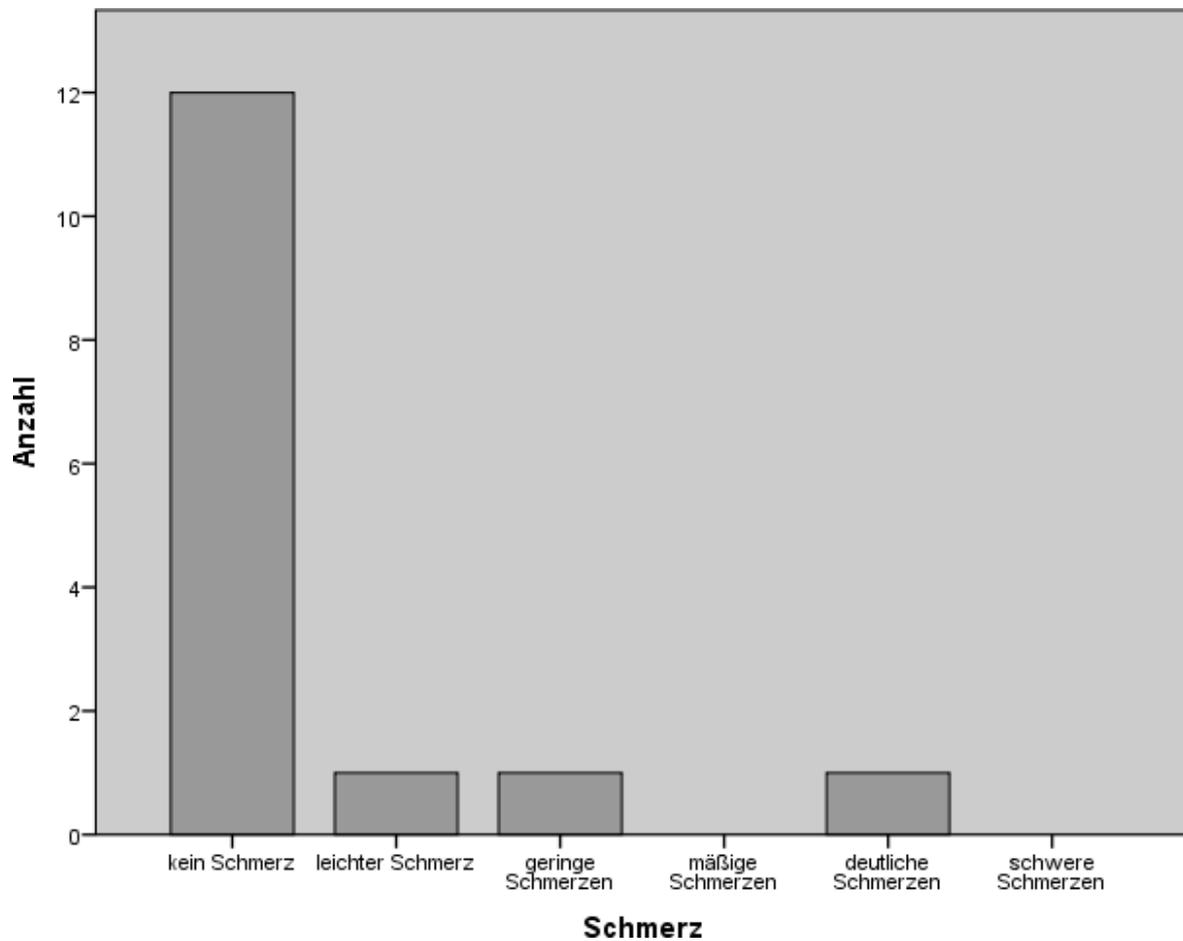


Abbildung 10: Anzahl (N) der Schmerzstufe aus der Kategorie Schmerz des mHHS

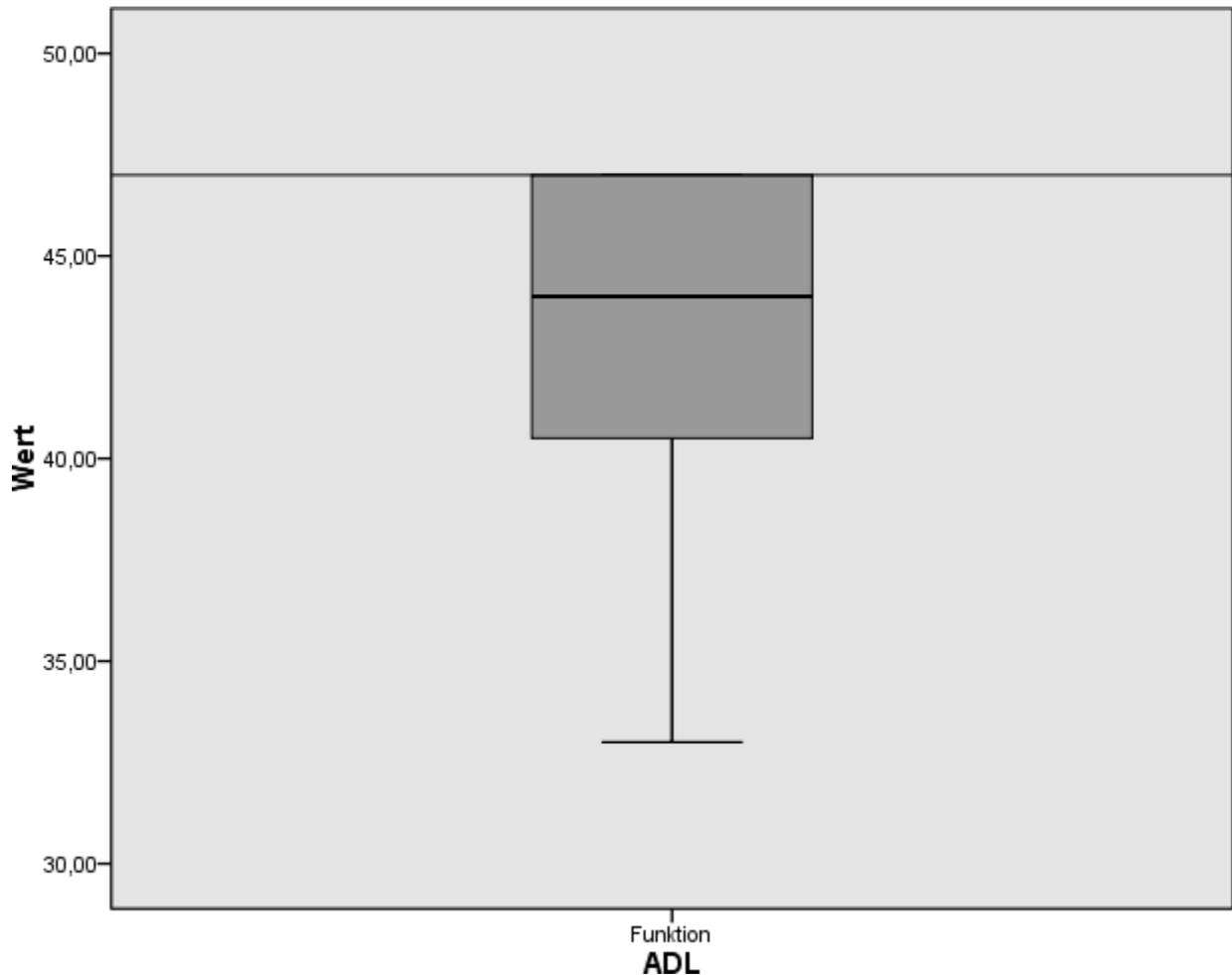


Abbildung 11: Boxplot-Diagramm der Kategorie Funktion (activities of daily life, ADL) aus dem mHHS, maximal erreichbare Punktzahl=47

#### 4.2.1.2 Kidscreen-10

Die Abbildung zeigt die Health-related Quality of Life, beurteilt durch den Kidscreen-10-Fragebogen anhand der international validierten T-Werte, welche auf der Schätzung des Personenparameters nach Rasch basieren:

Tabelle 20: Deskriptive Statistik der Auswertung des Kidscrenn-10

<b>N=15</b>	<b>T-Wert</b>
Mittelwert	57,97
Standardabweichung	8,38
Minimum	41,24
Maximum	72,49

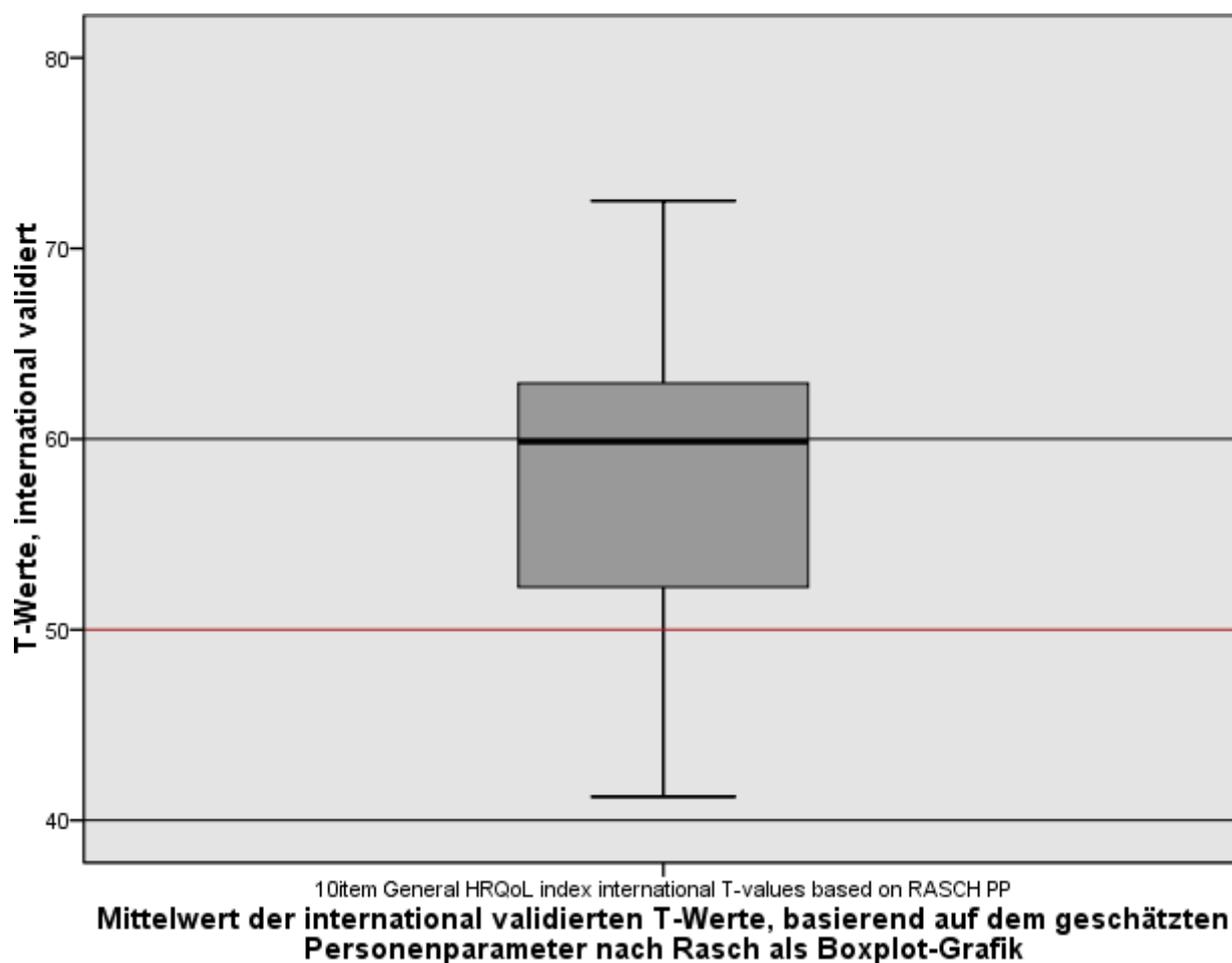


Abbildung 12: Boxplot-Grafik des Ergebnisses des Kidscreen-10, Mittelwert von 50, Standardabweichung von 10

Es ergibt sich folgende statistisch signifikante Korrelation der T-Werte mit der Stulberg-Klassifikation:

Tabelle 21: Korrelation der Ergebnisse des Kidscreen-10 mit der Stulberg-Klassifikation

	<b>Korrelation (r)</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
Stulberg-Klassifikation	-0,559	0,030*

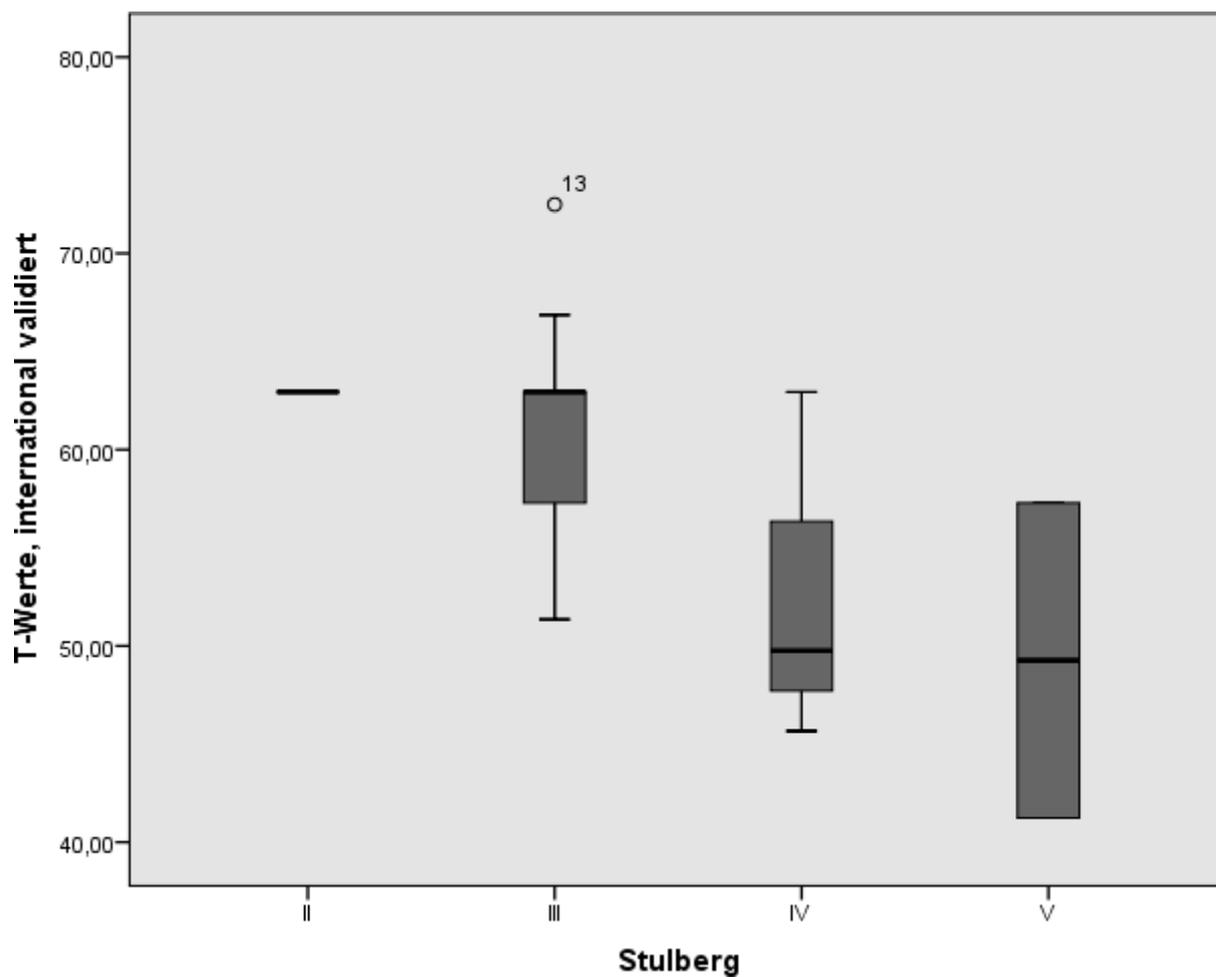


Abbildung 13: T-Werte des Kidscreen-10 gruppiert nach dem Stulberg-Ergebnis

### 4.2.1.3 Gesundheitszustand

Diese Grafik beschreibt das Ergebnis auf die Frage des Gesundheitszustandes der Patienten.

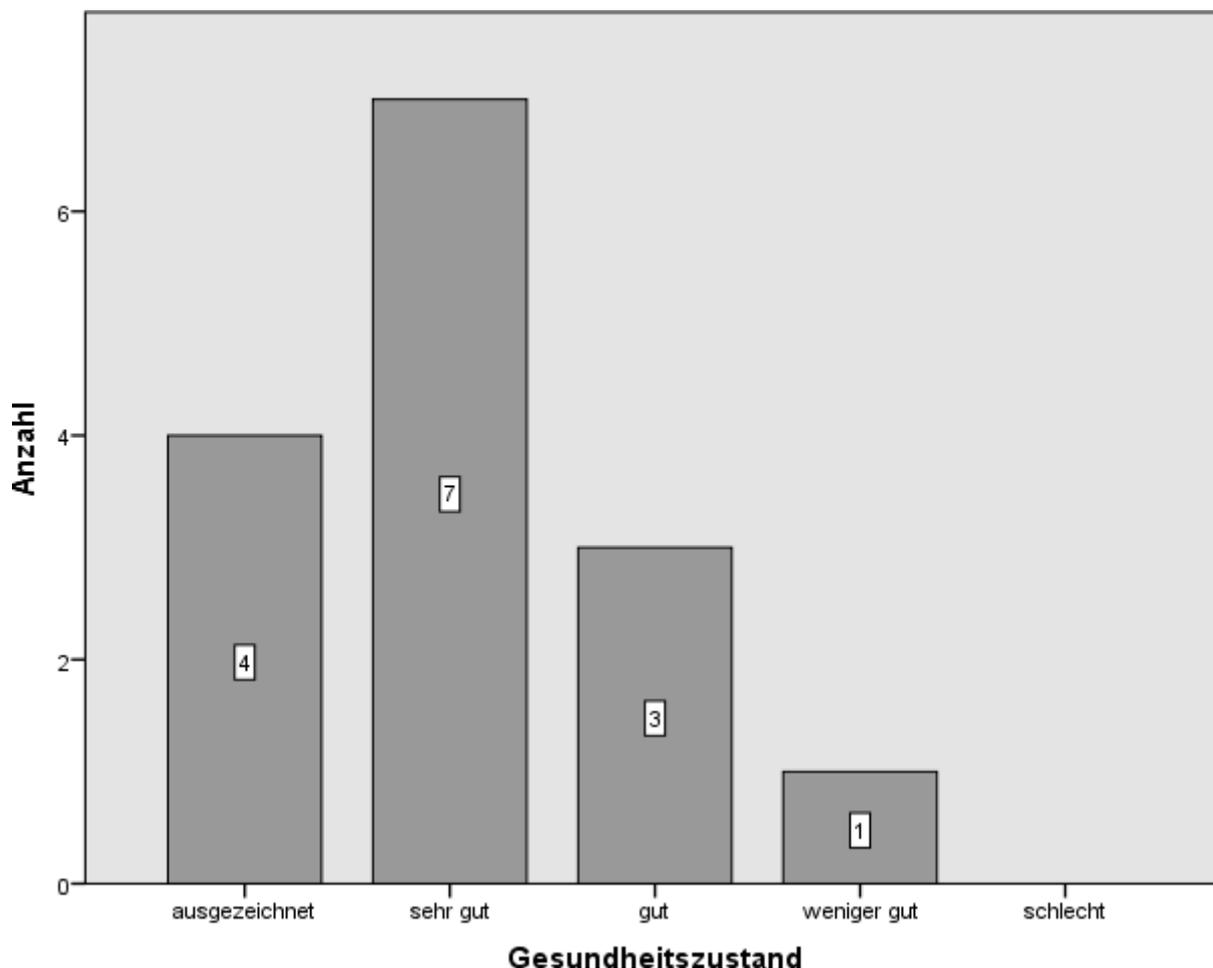


Abbildung 14: Anzahl (N) der Qualität des Gesundheitszustandes

Es ergeben sich folgende Korrelationen des Gesundheitszustandes:

Tabelle 22: Korrelation des Gesundheitszustandes mit dem mHHS und Kidscreen-10

N=15	Korrelation (r)	Signifikanz (p)
Modified Harris Hip Score	-0,866	0,000*
Kidscreen-10	-0,405	0,135

## 4.2.2 Klinische Zeichen

### 4.2.2.1 Bewegungsumfang

Der Zeitraum der Erfassung der Bewegungsumfänge beträgt im Mittel 5,54 Jahre (1,02 bis 10,52 Jahre).

#### 4.2.2.1.1 Abduktion

In der körperlichen Untersuchung wurden die Werte der Hüftabduktion der operierten Seite beurteilt. Dabei ergaben sich zu den verschiedenen Zeitpunkten folgende Ergebnisse:

Tabelle 23: Abduktionswerte der operierte Hüfte präoperativ, postoperativ und aktuell

	präoperativ [°]	postoperativ [°]	aktuell [°]
Mittelwert	7,96	26,59	35,33
Minimum	-30,00	-20,00	20
Maximum	50,00	50,00	50,00

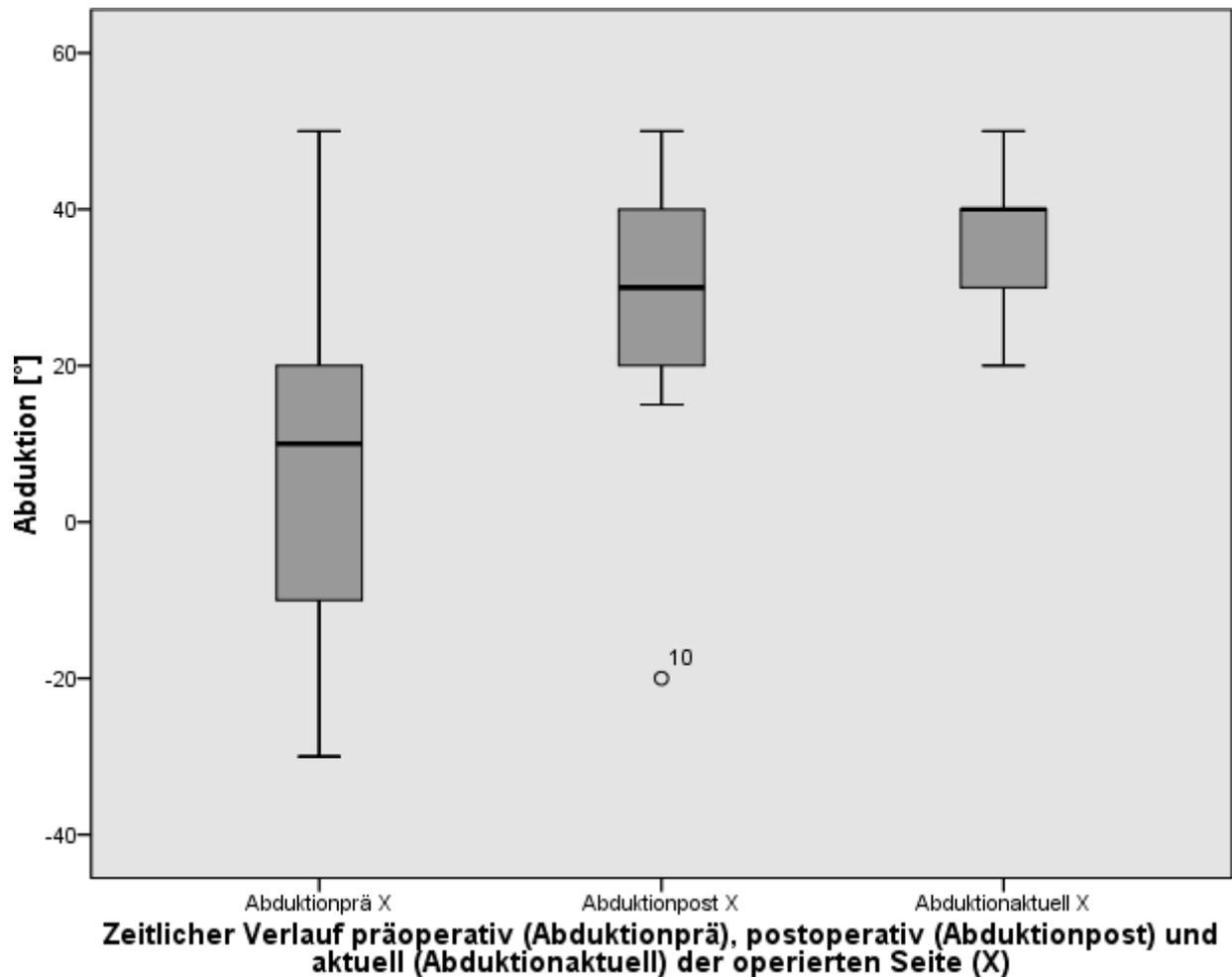


Abbildung 15: Hüftabduktion der operierten Seite (X) im zeitlichen Verlauf präoperativ (Abduktionprä), postoperativ (Abduktionpost) und aktuell (Abduktionaktuell)

Von prä- zu postoperativ verbesserte sich die Abduktionsfähigkeit der Hüfte auf der operierten Seite im Mittel um 30,46°. Dabei zeigten zwei Patienten eine Verschlechterung und zwei Patienten einen stabilen Zustand ohne Änderung des Bewegungsumfangs.

Es zeigt sich von prä- zu postoperativ sowie von präoperativ zum letzten gemessenen Zeitpunkt eine signifikante Änderung der Mittelwerte ( $p=0,000$ ,  $p=0,001$ ). Der postoperative Verlauf bleibt jedoch stabil ohne eine signifikante Änderung des postoperativen und zuletzt gemessenen Wertes ( $p=0,193$ ).

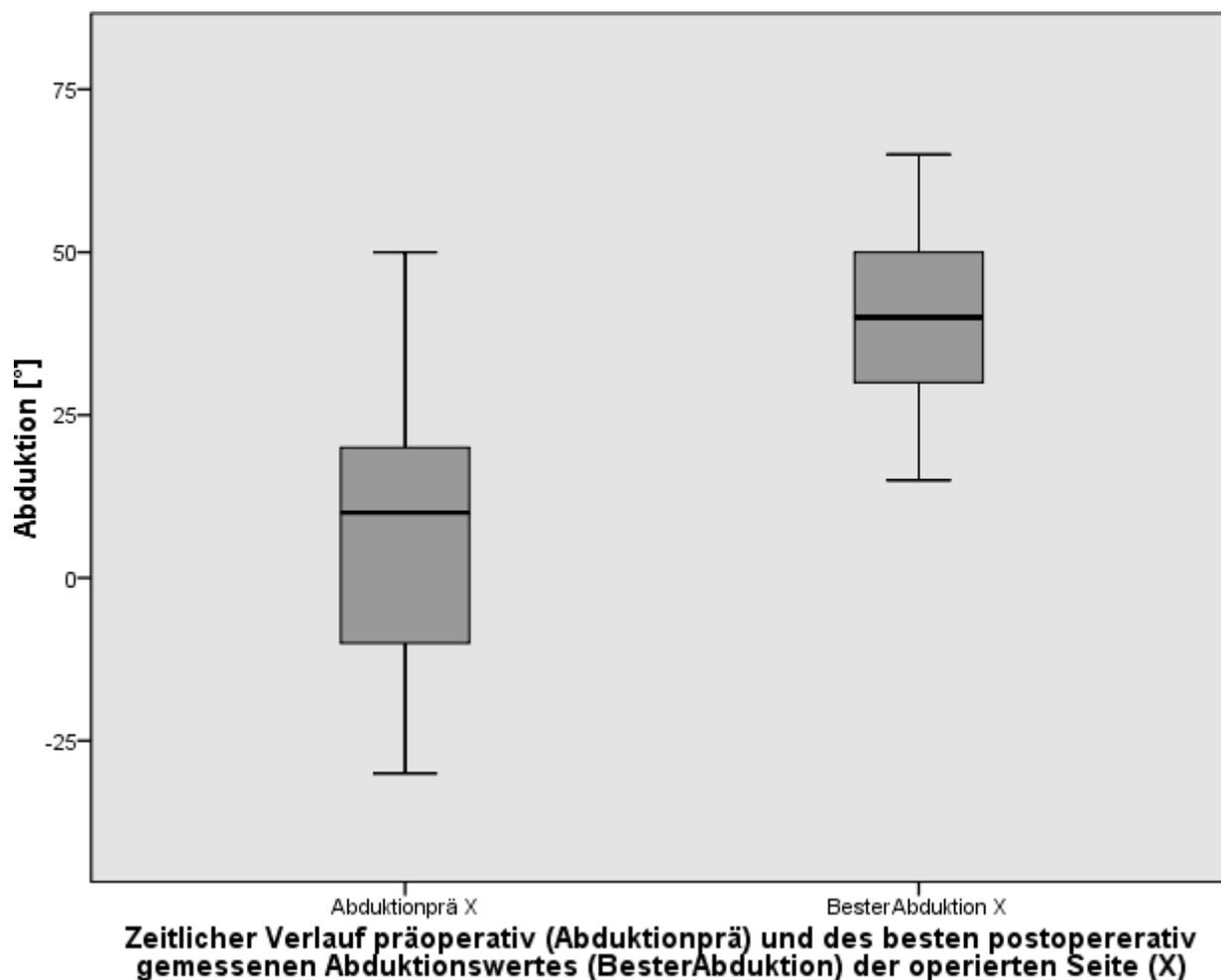


Abbildung 16: Hüftabduktionswerte [°] der operierten Seite (X) präoperativ und postoperativ nach Patientenrang

#### 4.2.2.1.2 Innenrotation

Die Mittelwerte verändern sich von präoperativ zum letzten gemessenen Zeitpunkt signifikant ( $p=0,032$ ).

Die Fähigkeit zur Innenrotation auf der operierten Seite verbesserte sich im Mittel um  $10,29^\circ$  ( $-10,0^\circ$  bis  $60,0^\circ$ ). Dabei zeigten vier Patienten eine Verschlechterung im Vergleich zum Ausgangswert und vier Patienten einen stabilen Zustand.

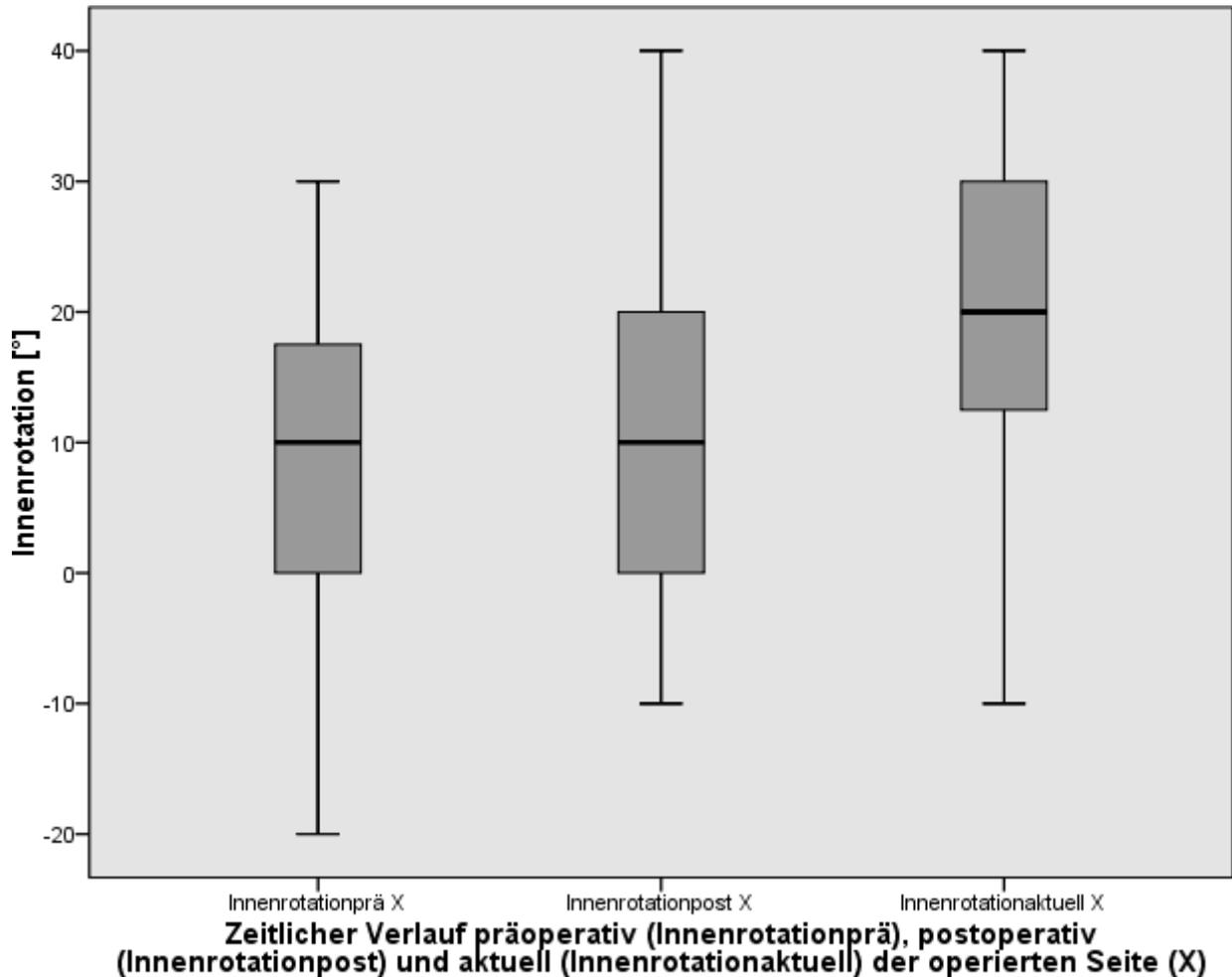


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Hüftinnenrotation [°] der operierten Seite (X) präoperativ (Innenrotationprä), postoperativ (Innenrotationpost) und aktuell (Innenrotationaktuell)

#### 4.2.2.2 Beinlängendifferenz

Tabelle 24: Werte der Beinlängendifferenz präoperativ und aktuell, mit Wert Verkürzungsosteotomie

	<b>präoperativ [cm] N=24</b>	<b>operativer Ausgleich [cm] N=28</b>	<b>aktuell [cm] N=22</b>
Mittelwert	-1,0	0,3	0,6
Minimum	-5,0	0	-3,0
Maximum	1,0	1,5	1,5

präoperativ=letzter präoperativ gemessener Wert; operativer Ausgleich=im Rahmen der Femurvalgisation durchgeführte Verkürzungsosteotomie; aktuell=letzter gemessener Wert postoperativ

Der Unterschied der Mittelwerte von präoperativ zum letzten gemessenen Zeitpunkt ist nicht statistisch signifikant ( $p=0,135$ ).

Es ergeben sich folgende Korrelationen für den zum letzten Zeitpunkt gemessenen Wert der Beinlängendifferenz:

Tabelle 25: Korrelation der Beinlängendifferenz mit dem Valgisations- und CCD-Winkel

	<b>Korrelation (r)</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
Valgisationswinkel, radiologisch	0,554	0,007*
CCD-Winkel aktuell der operierten Seite	0,444	0,038*

Valgisationswinkel, radiologisch= radiologisch gemessene Änderung des Valgisationswinkel durch die Umstellungsosteotomie

### 4.2.3 Radiologische Ergebnisse

Die Röntgenparameter wurden bei jedem Patienten vor der valgisierenden Umstellungsosteotomie (präoperativ), zum erstmöglichen Zeitpunkt postoperativ (postoperativ) und auf dem zum Auswertungszeitpunkt am aktuellsten vorliegenden Röntgenbild (aktuell) bestimmt.

Die untersuchte Hüftgelenksseite, welche mittels der valgisierenden Femurosteotomie versorgt wurde, wird dabei in den folgenden Tabellen und Abbildungen als „X“ bezeichnet, die zum Vergleich herangezogene Hüftgelenksgegenseite als „O“.

#### 4.2.3.1 Untersuchung des CCD-Winkels

Die anhand der vorliegenden Röntgenbilder bestimmten CCD-Winkel der operierten Seite zeigen sich präoperativ im Normbereich [50]. Postoperativ konnte entsprechend des durchgeführten Eingriffs eine Valgusstellung des operierten Hüftgelenks gemessen werden. Der CCD-Winkel zeigt dabei mit im Mittel  $3,5^\circ$  ( $-8,4$  bis  $21,6$ ) eine signifikante Änderung ( $p=0,003$ ) vom postoperativen Wert der operierten Seite bis zum letzten gemessenen Wert der operierten Seite.

Tabelle 26: Werte des CCD-Winkels präoperativ, postoperativ und aktuell

	<b>präoperativ (N=28)</b>	<b>postoperativ (N=28)</b>	<b>aktuell (N=28)</b>
Mittelwert [°]	129,5	152,5	131,6
Minimum [°]	107,8	133,3	149,0
Maximum [°]	149,6	170,3	168,1

Tabelle 27: CCD-Winkel der operierten Seite

Patienten ID	CCD präoperativ (°)	Geplante Korrektur (°)	CCD postoperativ (°)	CCD aktuellster Wert (°)
1	135,5	20	158,5	139,3
2	144,3	35	146,3	146,3
4	122,9	35	153,4	155,7
5	136,5	14	150,2	143,7
6	137,9	35	165,5	162,6
9	125,1	30	146,6	137,3
12	122,1	-	146,1	139,6
17	125,8	30	144,1	143,7
18	128,9	20	143,8	152,2
19	143,6	17	133,3	131,6
28	132,8	30	159,3	159,3
30	135,8	30	168,7	160,3
34	130,3	30	168,1	164,5
38	107,8	40	149,7	141,9
39	131,5	35	162,9	158,5
43	132	40	166,5	158,6
47	149,6	-	170,3	168,1
49	109	40	137,8	137,6
51	128,7	12	137,8	135,9
58	126,2	14	140,6	142,5
63	139,2	30	151,3	152,3
64	132,7	20	144	141,7
65	112,7	30	147,8	148,6
66	132,7	30	169,8	166,9
72	124,5	20	138,3	137,6
73	136,5	20	156,3	153,4
74	119,2	40	162,3	140,7
78	122,4	35	150	150,9

,-='fehlender Werte

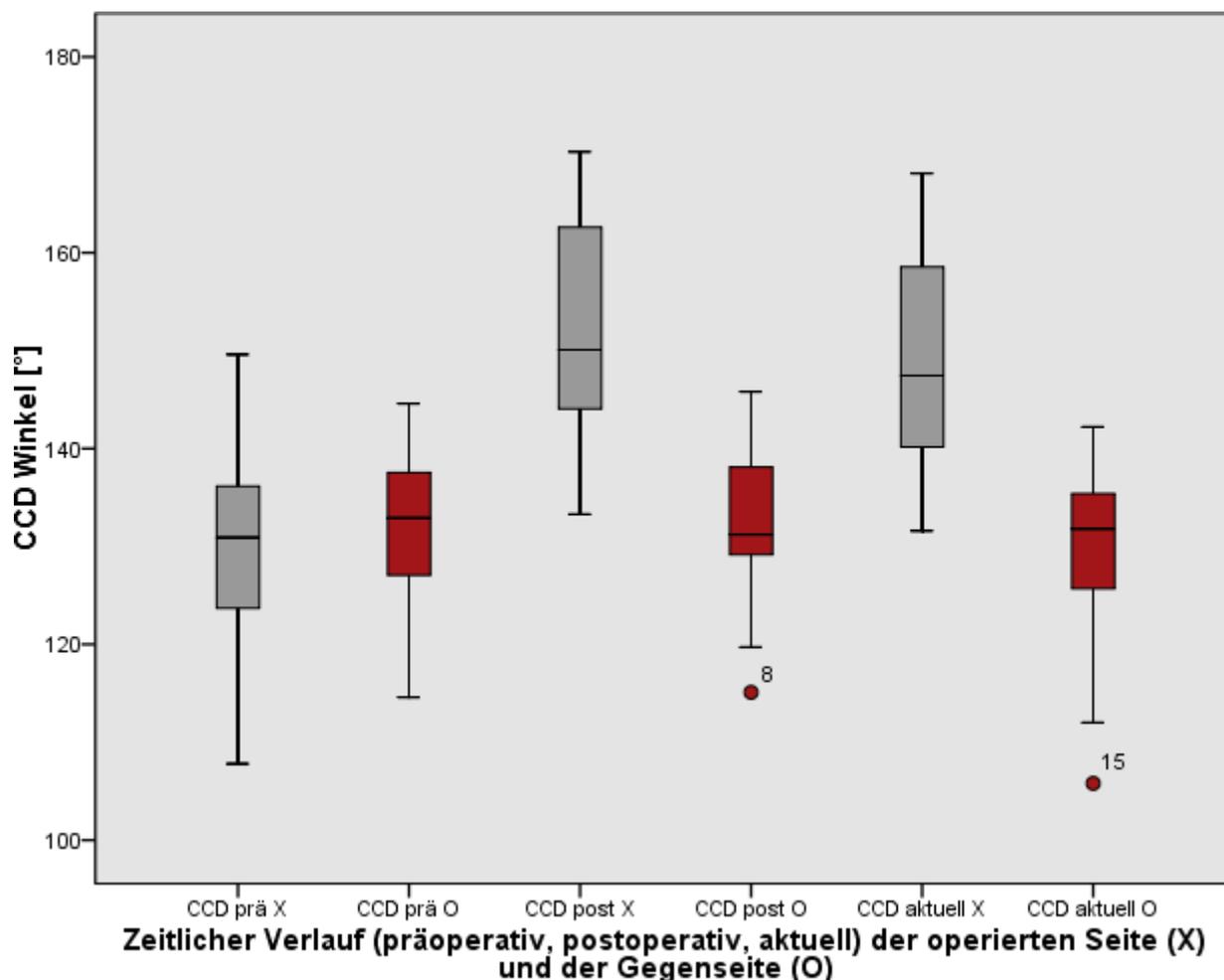


Abbildung 18: Boxplot Diagramm des zeitlichen Verlaufs präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der CCD Winkel [°] der operierten Seite (X) und der Gegenseite (O)

Die prä- oder intraoperativ berechnete Valgisierung des CCD-Winkels und der tatsächlich operativ angewandte Osteotomiewinkel (Mittelwert 23°), welcher anhand des ersten postoperativ durchgeführten Röntgenbildes bestimmt wurde, weichen um 5° voneinander ab ( $p=0,011$ ). Bei 5 Patienten kam es zu starken Abweichungen über 10°.

#### 4.2.3.2 Pelvic Tilt

Für die laterale Beckenverkipfung ergeben sich folgende Werte im zeitlichen Verlauf:

Tabelle 28: Ergebnisse des Pelvic Tilt der operierten Seite präoperativ, postoperativ und aktuell

Operierte Seite	präoperativ (N=26)	postoperativ (N=26)	aktuell (N=24)
Mittelwert (°)	84,2	92,7	88,36
Minimum (°)	63,3	68,9	71,5
Maximum (°)	99,0	121,4	109,8

Die Veränderung zwischen dem präoperativem und postoperativem ( $p=0,000$ ) sowie dem präoperativem und aktuellem Wert ( $p=0,000$ ) ist dabei signifikant.

Tabelle 29: Ergebnisse des Pelvic Tilt der gesunden Gegenseite präoperativ, postoperativ und aktuell

Gegenseite	präoperativ (N=20)	postoperativ (N=20)	aktuell (N=18)
Mittelwert (°)	85,6	81,2	82,9
Minimum (°)	71,5	59,8	67,2
Maximum (°)	111,4	108,1	98,8

Im Vergleich der operierten Seite und der Gegenseite ist der Unterschied präoperativ signifikant ( $p=0,000$ ), im aktuellen Röntgenbild nicht signifikant ( $p=0,591$ ).

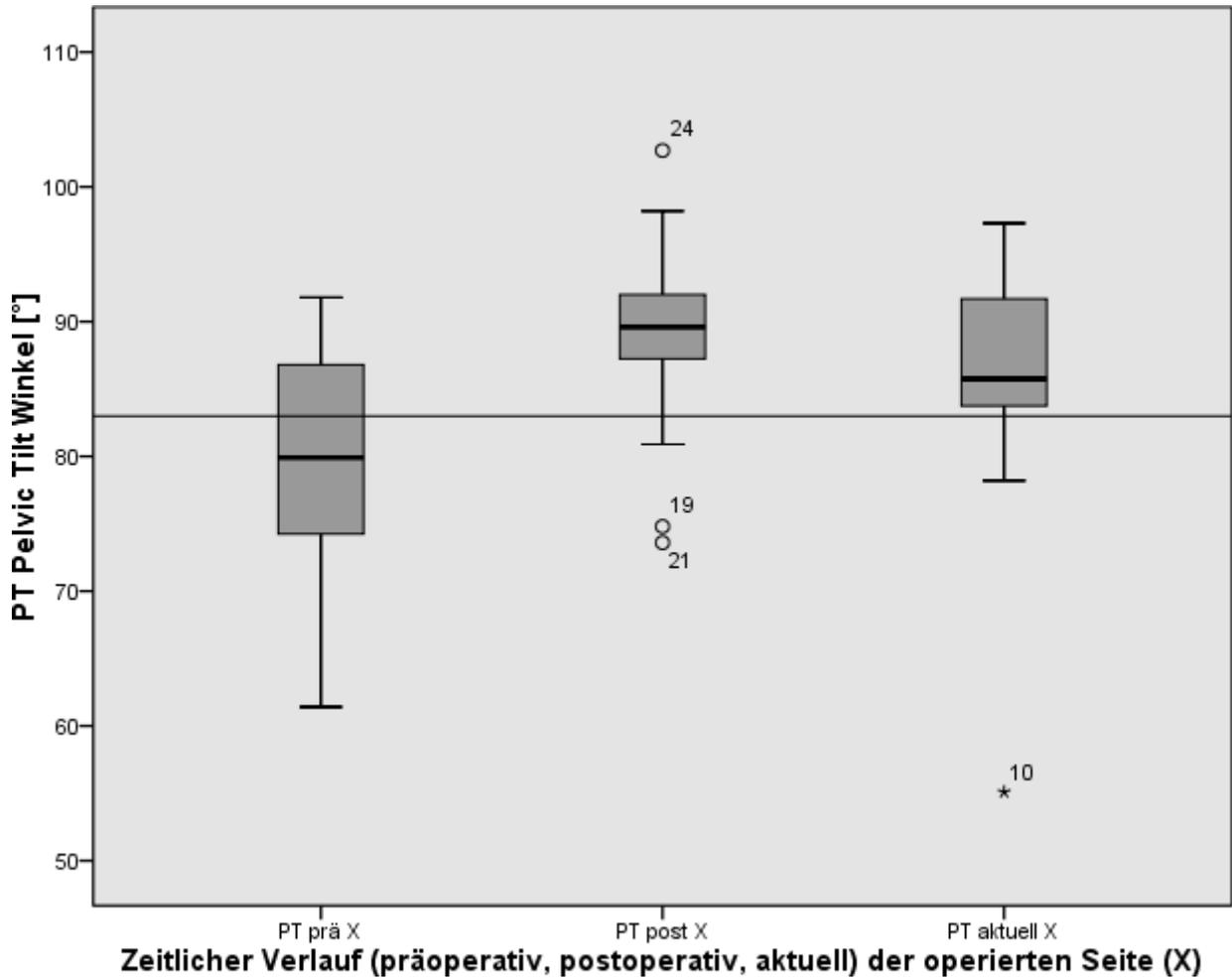


Abbildung 19: Boxplot-Diagramm des Pelvic Tilt-Winkels (PT) [°] im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell) der operierten Seite (X), Normwert 83°

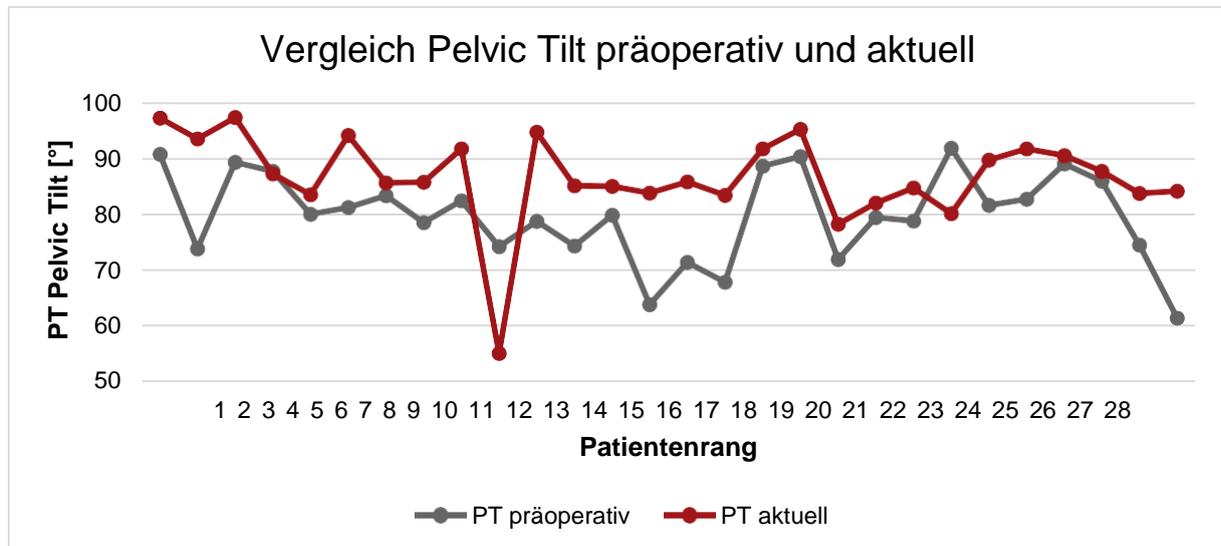


Abbildung 20: PT-Winkel Pelvic Tilt [°] der operierten Seite präoperativ (grau) und aktuell (rot) nach Patientenrang

Folgende Patienten weisen auf der operierten Seite einen normwertigen Pelvic Tilt auf. Der Normwertbereich wurde als  $83^\circ$  unter Einschluss eines Messfehlers von  $\pm 5^\circ$  erfasst:

Tabelle 30: Anzahl der Patienten mit normwertigem Pelvic Tilt präoperativ, postoperativ und aktuell

	präoperativ	postoperativ	aktuell
Anzahl N	13	8	16
Mittelwert [°]	81,5	85,0	84,1

Auflistung aller Patienten, die zum letzten gemessenen Zeitpunkt einen normwertigen PT-Winkel aufweisen ( $83^\circ \pm 5^\circ$  Messfehler):

Tabelle 31: Abduktionswerte der Patienten mit im Follow-up normwertigem PT-Winkel

Patienten ID	PT Winkel präoperativ [°]	PT Winkel aktuell [°]	Abduktion präoperativ [°]	Verbesserung der Abduktion [°]
5	87,7	87,2	50	0
6	80	83,5	-5	40
12	83,3	85,6	20	0
17	78,5	85,7	30	-2,5
30	74,3	85,1	-	-
34	79,8	85	20	30
38	63,8	83,8	-30	50
39	71,4	85,8	-10	50
43	67,8	83,4	-30	75
51	71,9	78,2	-10	25
58	79,4	82	20	30
63	78,8	84,7	10	20
64	91,8	80,1	45	-35
73	85,9	87,7	25	20
74	74,5	83,7	-15	55
78	61,4	84,1	-30	60

Korrelation der Werte der operierten Seite mit der Abduktion (nach Pearson):

Tabelle 32: Korrelation der PT-Werte mit der Abduktion

		Korrelation (r)	Signifikanz (p)
Pelvic Tilt präoperativ	Abduktion präoperativ	0,781	0,000*
Differenz Pelvic Tilt	Verbesserung der Abduktion	0,637	0,000*

Differenz Pelvic Tilt = Pelvic Tilt postoperativ - Pelvic Tilt präoperativ

Verbesserung der Abduktion = bester Abduktionswert - Abduktionswert präoperativ

#### 4.2.3.3 Extrusionszeichen

Es zeigt sich folgende Korrelation zwischen den radiologischen Zeichen einer Subluxation:

Tabelle 33: Korrelation der Extrusionszeichen untereinander

		Korrelation (r)	Signifikanz (p)
AHQ präoperativ	EEl präoperativ	-0,895	0,000*
AHQ postoperativ	EEl postoperativ	-0,884	0,000*
AHQ postoperativ	TDD postoperativ	-0,517	0,007*
AHQ aktuell	EEl aktuell	-0,792	0,000*
AHQ aktuell	TDD aktuell	-0,477	0,014*

#### 4.2.3.3.1 Acetabulum-Head-Quotient

Bezüglich der Normwerte befinden sich die Patienten wie folgt im Referenzbereich:

Tabelle 34: Anzahl der Patienten mit normwertigem AHQ

Acetabulum-Head-Quotient	Anzahl präoperativ (N=26)	Anzahl aktuell (N=26)
≥90%	5	9
70%<x<90%	16	11
<70%	5	6

Ein Mittelwertvergleich der Patienten unter Gruppierung nach dem Staging zeigt keine signifikanten Unterschiede.

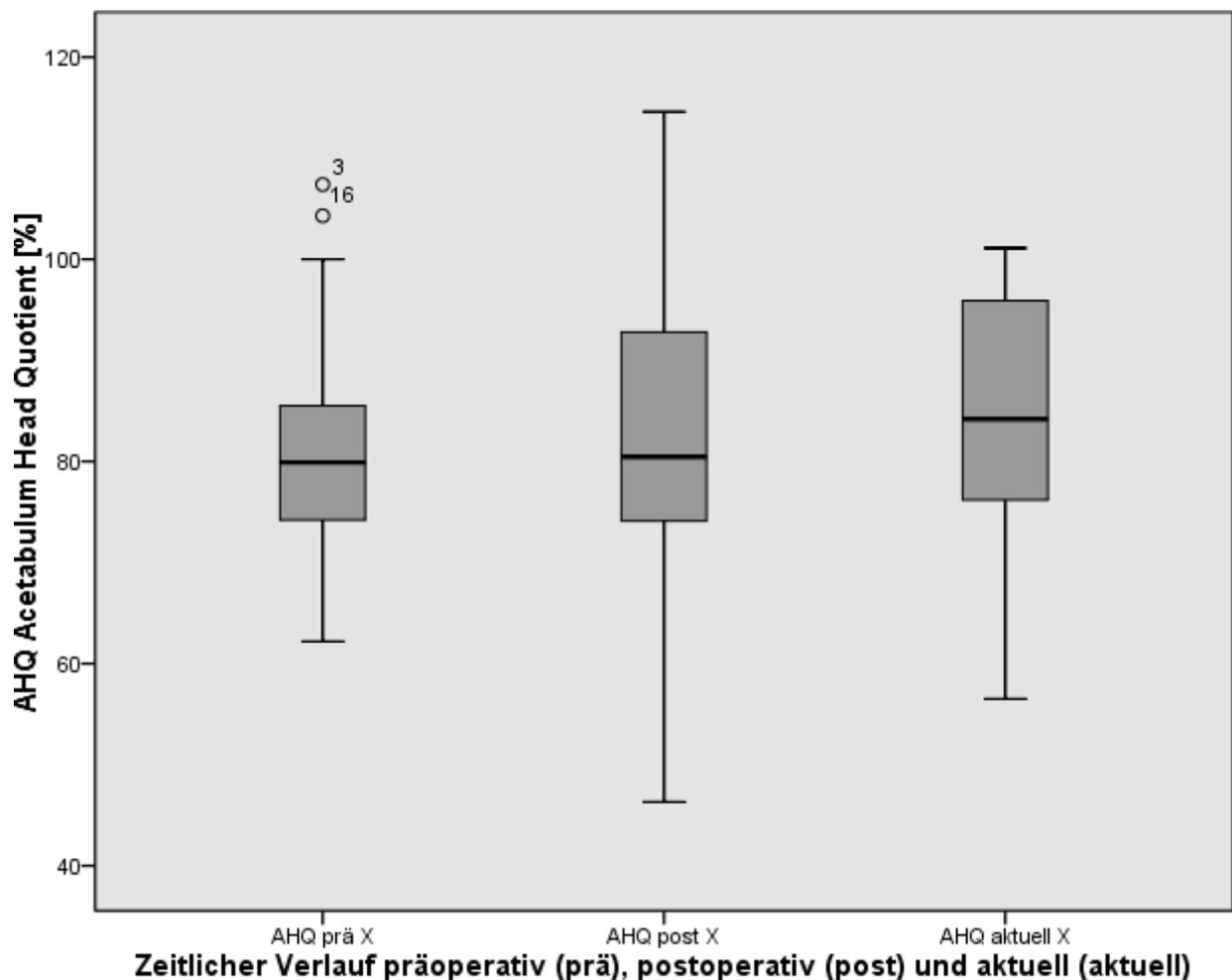


Abbildung 21: AHQ Acetabulum-Head-Quotient [%] im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der operierten Seite

Der Vergleich der Mittelwerte präoperativ, postoperativ und aktuell zeigt keinen signifikanten Unterschied.

Der Acetabulum-Head-Quotient korreliert wie folgt:

Tabelle 35: Korrelation des AHQ

		Korrelation (r)	Signifikanz (p)
AHQ präoperativ	Stulberg-Gruppe	-0,464	0,022*

#### 4.2.3.3.2 Epiphyseal-Extrusion-Index

N=5 Patienten weisen präoperativ einen Wert von kleiner 20% auf.

Postoperativ zeigt sich eine signifikante Verschlechterung des EEI von im Mittel 31,4% auf 38,9% ( $p = 0,046$ ).

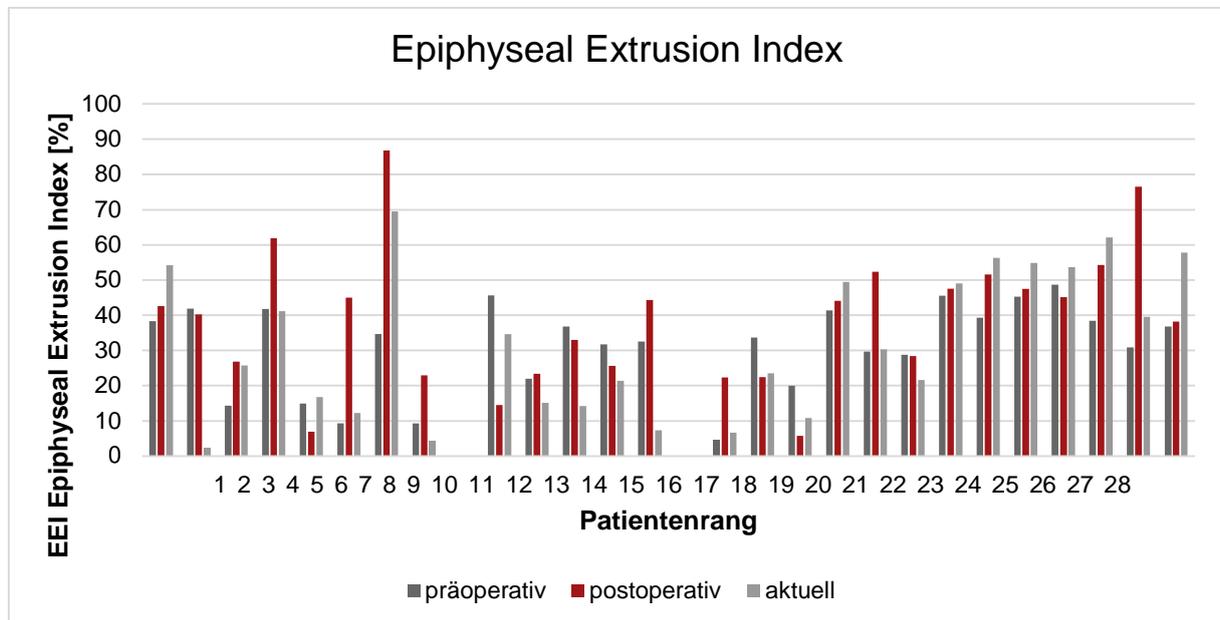


Abbildung 22: EEI Epiphyseal-Extrusion-Index [%] präoperativ, postoperativ und aktuell nach Patientenrang

Das Boxplot-Diagramm zeigt bei den aktuellen Werten eine Verbesserung des Median, jedoch mit einer größeren Spannweite der Werte.

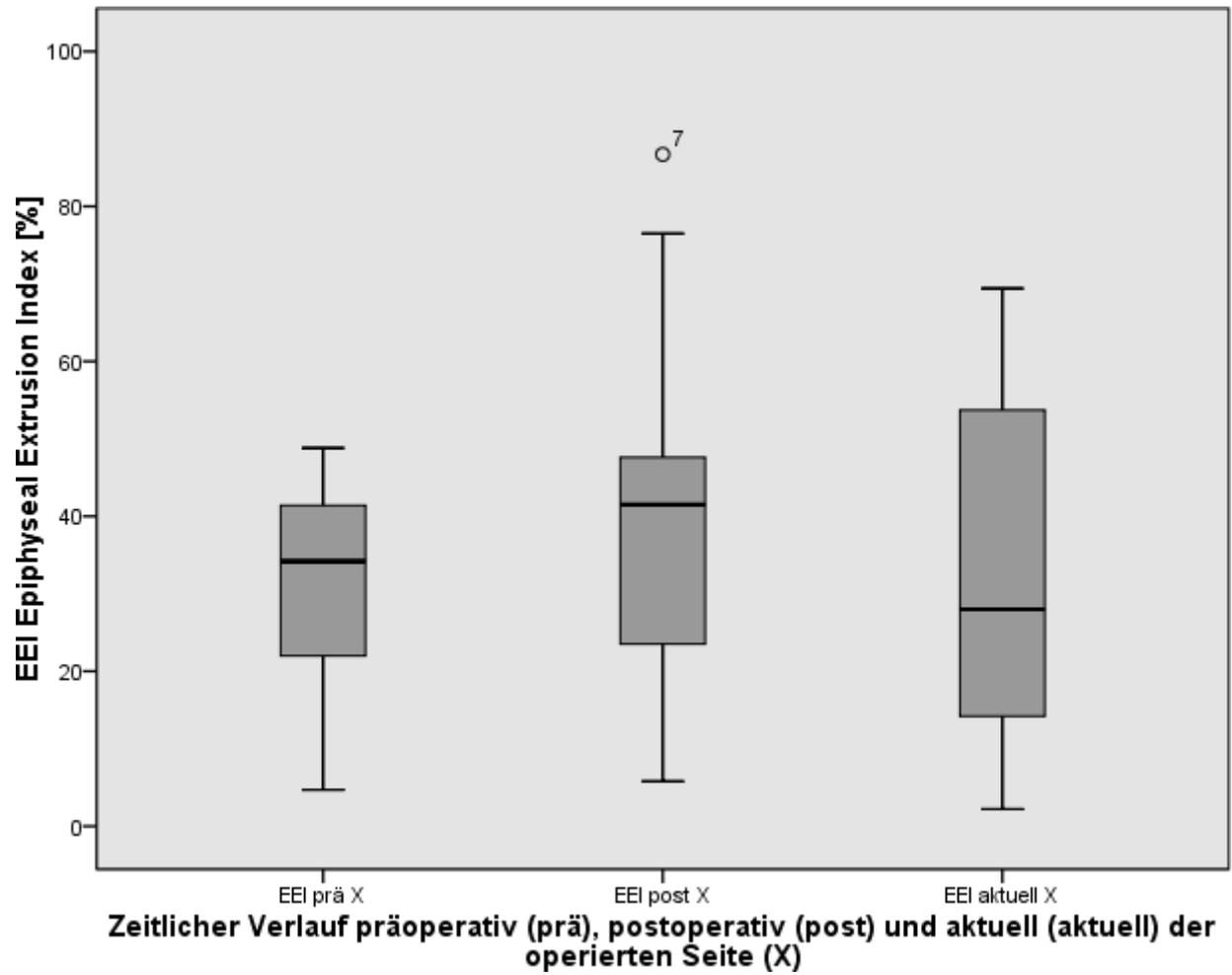


Abbildung 23: Boxplot-Diagramm des Epiphyseal-Extrusion-Index (EEI) [%] der operierten Seite (X) im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell)

Bezüglich der Untersuchung der Kennzahlen unterschiedlicher Fallgruppen hinsichtlich vorausgegangener Operationen und des Stagings zeigen sich keine signifikanten Ergebnisse. Eine Analyse der unterschiedlichen Stulberg-Gruppen ist bei geringer Fallzahl nicht möglich, die Mittelwerte des präoperativen Wertes steigen jedoch mit der Stulberg-Klassifikation an.

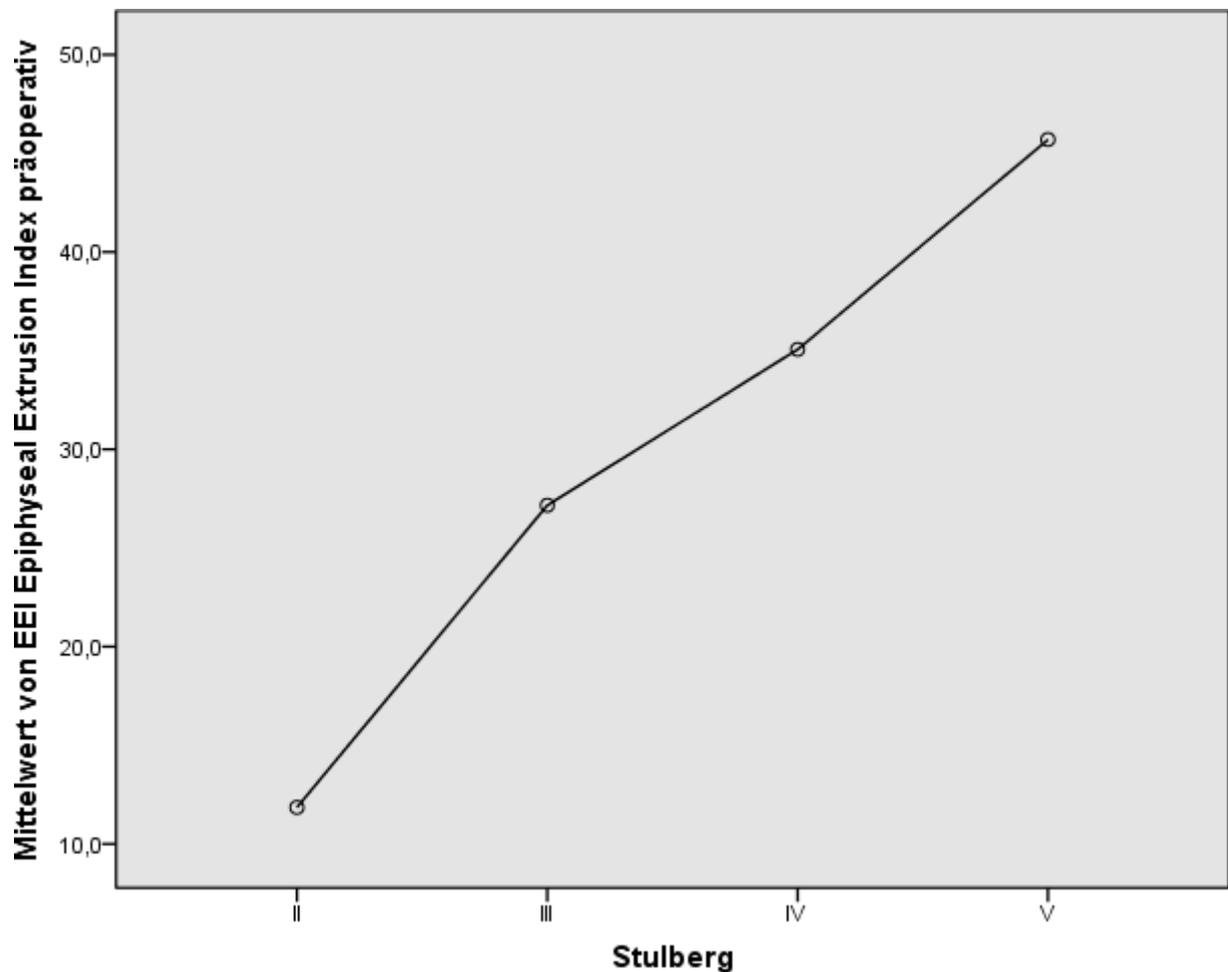


Abbildung 24: präoperative Mittelwerte des Epiphyseal-Extrusion-Index [%] der operierten Seite nach Stulberg-Klassifikation

#### 4.2.3.3.3 Tear-Drop-Distance

Präoperativ zeigen 17 Patienten eine Tear-Drop-Distance größer 11 mm auf der erkrankten Seite, jedoch nur ein Patient für die gesunde Seite. Postoperativ besteht noch bei 15 Patienten eine Abweichung vom Normwert auf der erkrankten Seite.

Die Mittelwerte unterscheiden zwischen der gesunden und erkrankten Seite zu jedem Zeitpunkt signifikant ( $p = 0,000$ ).

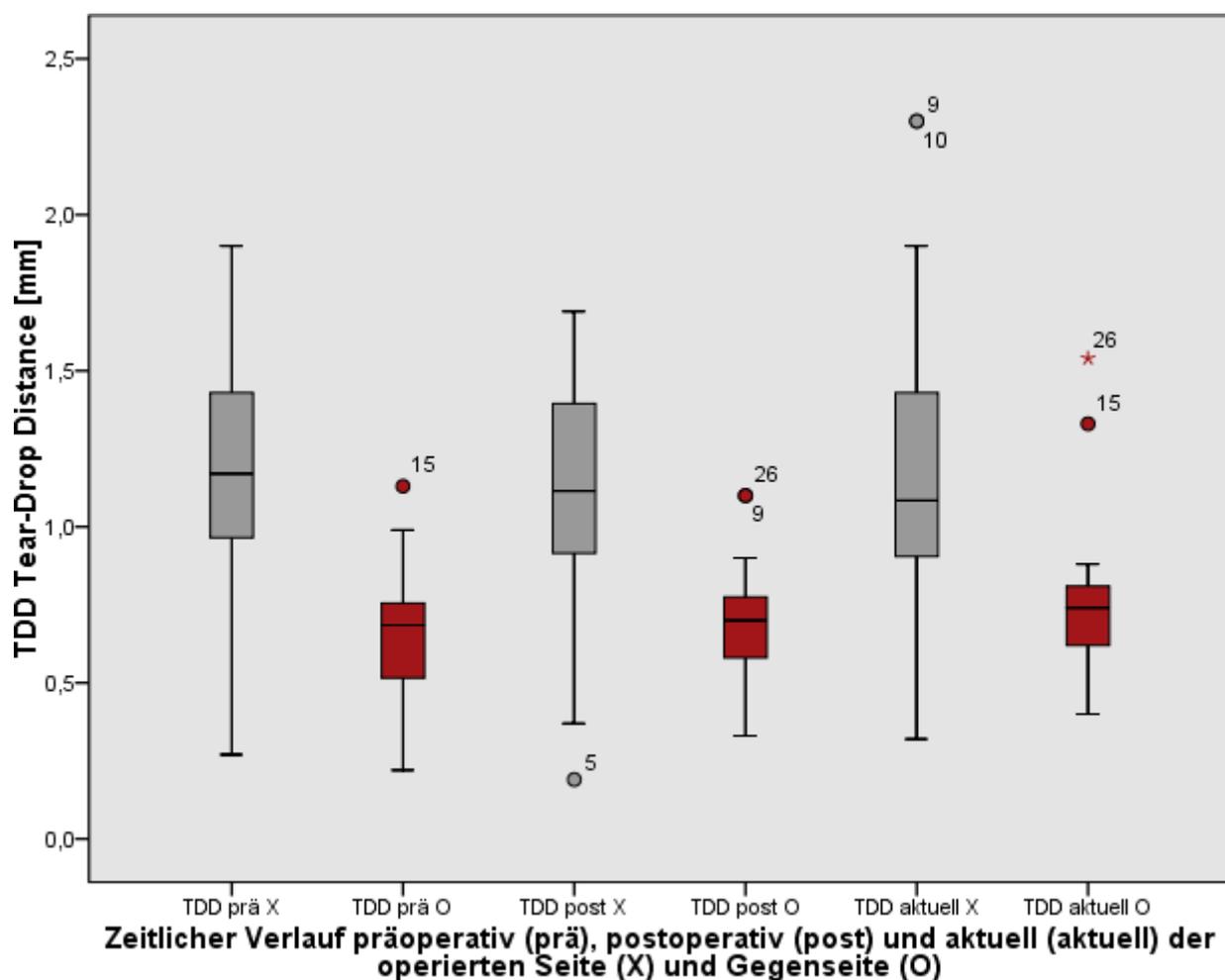


Abbildung 25: TDD Tear-Drop-Distance [mm] der operierten Seite (X) und Gegenseite (O) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell)

Für die präoperativen TDD-Werte der operierten Seite ergibt sich folgende Aufteilung nach der Stulberg-Klassifikation:

Tabelle 36: Präoperative TDD-Werte nach Stulberg-Klassifikation

Stulberg-Klassifikation	Anzahl (N=26)	Mittelwert
I, II	4	0,98
III, IV, V	22	1,13

#### 4.2.3.4 Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp)

Im Rahmen der eigenen Auswertung ergeben sich folgende Mittelwerte für die jeweilige Altersgruppe:

Tabelle 37: Mittelwerte des AAS nach Altersgruppe

Alter [J]	Normwert (Mittelwert) [°]	Mittelwert operierte Seite [°]	Mittelwert Gegenseite [°]	Anzahl N
<11	46	43,6	44,7	18
11-13	44	43,0	42,5	4
13-14	42	-	-	0
>14	40	40,9	37,3	6

Beim Vergleich der Mittelwerte zeigt sich weder bei der nicht operierten noch auf der operierten Seite eine signifikante Abweichung vom altersspezifischen Normwert.

Im zeitlichen Verlauf zeigt sich:

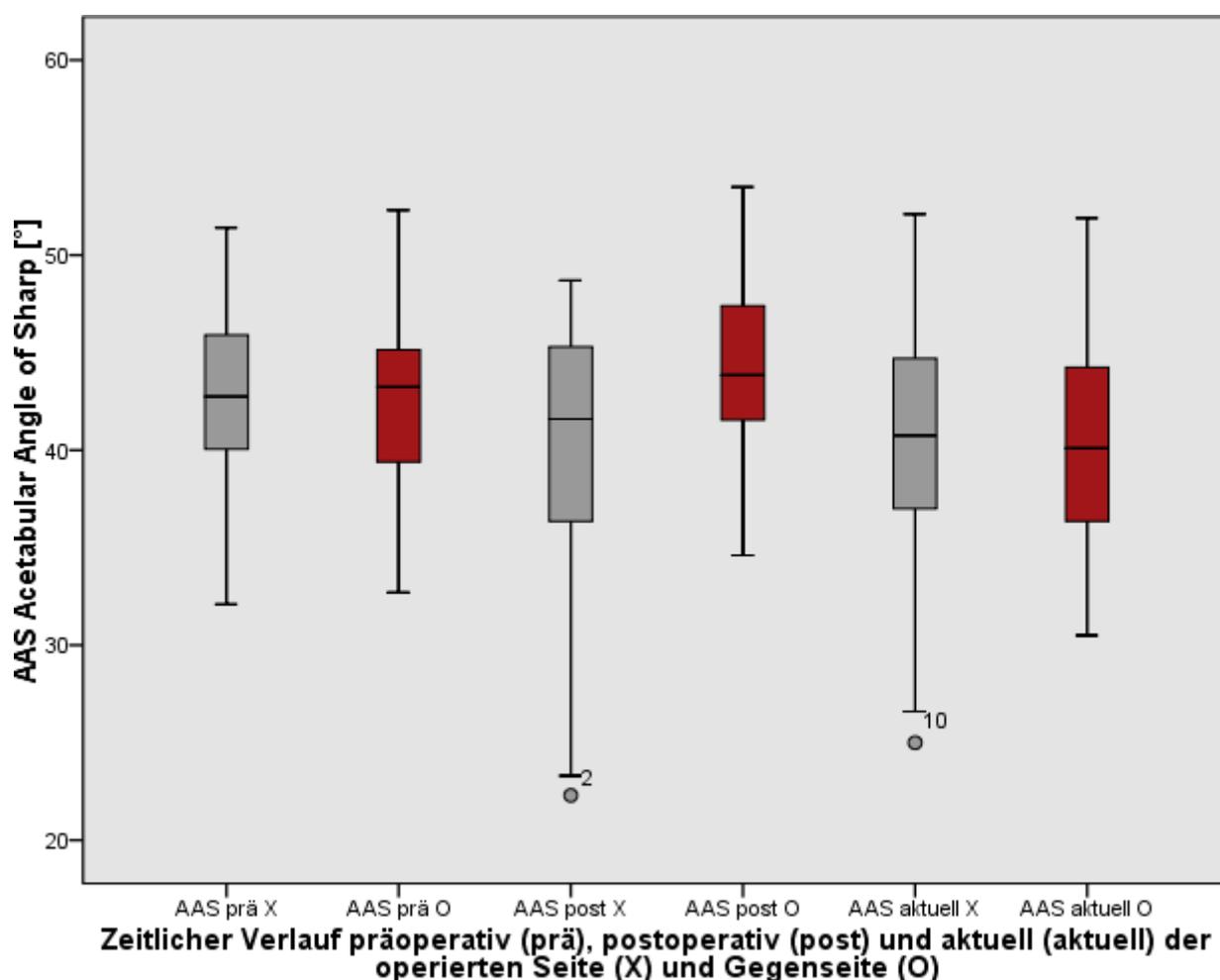


Abbildung 26: AAS Acetabular Angle of Sharp [°] der operierten Seite (X) und Gegenseite (O) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell)

Die Änderung der Mittelwerte der operierten Seite von präoperativ zu postoperativ zeigt ein statistisch signifikantes Ergebnis von  $p = 0,015$ . Auf der gesunden Seite ist der Vergleich der Mittelwerte von prä- zu postoperativ ( $p = 0,09$ ), von postoperativ zu aktuell ( $p = 0,000053$ ) und von präoperativ zu aktuell ( $p = 0,19$ ) signifikant.

#### 4.2.3.5 Articulo-Trochanteric-Distance

Auf der gesunden Seite stellen sich die Werte in dem oben definierten Normwertbereich dar und zeigen keine signifikante Änderung der Mittelwerte.

Folgende Werte ergeben sich aufgeschlüsselt nach Geschlecht:

Tabelle 38: ATD-Werte der weiblichen Patienten

Weibliche Patienten (N=5)	ATD Gegenseite [mm]			ATD operierte Seite [mm]		
	präoperativ	postoperativ	aktuell	präoperativ	postoperativ	aktuell
Mittelwert	15,1	19,5	21,6	16,3	22,3	21,1
Minimum	7,1	7,4	9,1	8,9	1,5	3,0
Maximum	24,2	28,9	30,4	33,9	34,0	33,7

Tabelle 39: ATD-Werte der männlichen Patienten

Männliche Patienten (N=23)	ATD Gegenseite [mm]			ATD operierte Seite [mm]		
	präoperativ	postoperativ	aktuell	präoperativ	postoperativ	aktuell
Mittelwert	18,1	17,3	17,1	15,2	28,0	26,3
Minimum	0	-3,4	-5,1	1,0	8,3	-3,0
Maximum	35,3	33,5	30,6	23,4	40,3	42,5

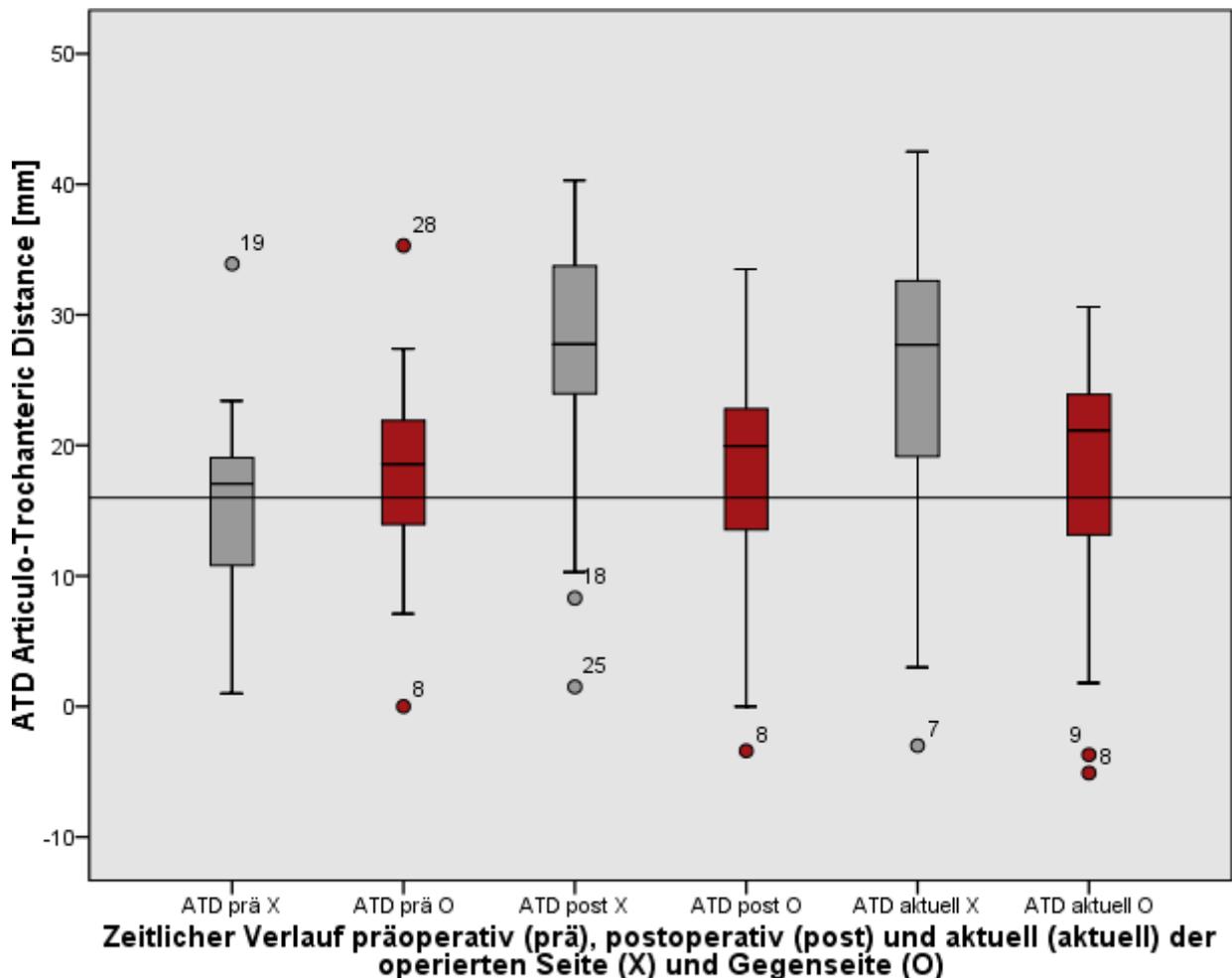


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Mittelwerte der Articulo-Trochanteric-Distance präoperativ, postoperativ und aktuell der operierten Seite (X) und der Gegenseite (O), Normwert=16 mm

Auf der operierten Seite zeigt sich durch die valgisierende Femurosteotomie eine signifikante Veränderung der Mittelwerte:

Tabelle 40: Signifikanz der Mittelwertänderung der ATD-Werte

		<b>Signifikanz (p)</b>
ATD präoperativ	ATD postoperativ	0,000*
ATD präoperativ	ATD aktuell	0,000*
ATD postoperativ	ATD aktuell	0,127

Nach dem Eingriff besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der operierten Seite und der Gegenseite:

Tabelle 41: Signifikanz des Unterschieds der ATD-Werte der operierten Seite und der Gegenseite

		<b>Signifikanz (p)</b>
ATD präoperativ operierte Seite	ATD präoperativ Gegenseite	0,207
ATD postoperativ operierte Seite	ATD postoperativ Gegenseite	0,000*
ATD aktuell operierte Seite	ATD aktuell Gegenseite	0,006*

Untersucht man die Änderung der ATD-Werte, also die Differenz der gemessenen Werte auf der operierten Seite prä- und postoperativ, ergibt sich folgende Korrelation:

Tabelle 42: Korrelation der Änderung der ATD-Werte durch die Valgisation, bzw. mit dem CCD-Winkel

		<b>Korrelation (r)</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
$\Delta$ ATD	Valgisation gemessen	0,564	0,002*
$\Delta$ ATD	Valgisation OP-Bericht	0,430	0,028*
$\Delta$ ATD	CCD postoperativ operierte Seite	0,608	0,001*

#### 4.2.3.6 Deformity Index nach Nelson

Präoperativ weisen 5 Patienten einen Wert kleiner 0,3 auf, postoperativ 6 und zum letzten gemessenen Zeitpunkt 10 Patienten.

Tabelle 43: Patienten mit pathologischem Deformity Index nach Nelson aktuell

<b>Patienten ID</b>	<b>Stulberg-Gruppe</b>	<b>Deformity Index präoperativ</b>	<b>Deformity Index aktuell</b>	<b>Remodeling</b>
4	II	0,33	0,18	-0,15
9	II	0,28	0,27	-0,01
17	III	0,31	0,14	-0,17
19	V	0,51	0,12	-0,39
34	III	0,43	0,27	-0,16
38	III	0,14	0,27	0,13
43	III	0,58	0,14	-0,44
47	IV	0,24	0,28	0,04
49	III	0,06	0,2	0,14
74	III	0,52	0,17	-0,35

Für den präoperativen Wert ergibt sich folgende Korrelation:

Tabelle 44: Korrelation des Deformity Index mit dem Herring-Stadium

		<b>Korrelation (r)</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
Deformity Index präoperativ	Herring-Stadium	-0,558	0,013*

Für das Remodeling, also den zum letztmöglichen Zeitpunkt gemessenen Wert minus dem präoperativen Wert, zeigt sich folgender Zusammenhang:

Tabelle 45: Korrelation des Remodeling

		<b>Korrelation (r)</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
Remodeling	Alter zum OP-Zeitpunkt	-0,448	0,025*
Remodeling	Staging	-0,412	0,041*

Remodeling= aktueller Wert - präoperativer Wert

#### 4.2.3.7 Mose Sphericity Index

Zu den gemessenen Zeitpunkten weist präoperativ und postoperativ jeweils ein Patient nach den Kriterien von Mose einen sphärischen Hüftkopf auf. Im Follow-up gelten zwei Hüften als sphärisch.

Tabelle 46: Patienten mit sphärischem Hüftkopf nach Mose

<b>Patienten ID</b>	<b>präoperativ</b>	<b>postoperativ</b>	<b>aktuell</b>	<b>Stulberg-Gruppe</b>
9	irregulär	irregulär	sphärisch	II
30	irregulär	irregulär	sphärisch	I
49	sphärisch	sphärisch	irregulär	III

#### 4.2.3.8 Endzustand nach Stulberg

Für die Klassifikation des Endzustands stehen von 26 Patienten Röntgenbilder im ausgeheilten Zustand zur Verfügung.

Tabelle 47: Verteilung der Patienten nach Stulberg-Gruppe

<b>Stulberg-Gruppe</b>	<b>Anzahl (N=26)</b>	<b>Prozent %</b>
I	1	3,6
II	3	10,7
III	12	42,9
IV	8	28,6
V	2	7,1

Wählt man als Grenzwert den Operationszeitpunkt zum Alter von 8 Jahren, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich des Stulberg-Ergebnisses ( $p=0,032$ ):

Tabelle 48: Anzahl der Patienten und Mittelwert der Stulberg-Gruppe mit dem Grenzwert Alter von 8 Jahren zum OP-Zeitpunkt

<b>Alter bei OP</b>	<b>Anzahl (N=26)</b>	<b>Mittelwert der Stulberg-Gruppe</b>
<8 Jahre	3	3,304
≥8 Jahre	23	3,000

#### 4.2.4 Arthrographie

Eine intraoperative Fluorsokopie wurde bei allen 28 Patienten durchgeführt. Eine ergänzende Arthrographie wurde am erkrankten Hüftgelenk präoperativ in 15 Fällen durchgeführt.

Dabei zeigt sich bei allen Patienten ein Hinge-abduction-Phänomen mit Anschlägen des Bump des vergrößerten Hüftkopfes am Pfannenrand oder eine Vorstufe mit Labrumanhebung und vermehrter Pfannenerkerbelastung in Abduktion. Außerdem zeigen sich Pathologien wie ein lateraler Drehpunkt des Hüftgelenks.

Bei allen Patienten zeigt sich eine verbesserte Hüftkopfeinstellung und Labrumbelastung in Adduktionsstellung.

#### **4.2.5 Operationsindikation**

Die Operationsindikation ergibt sich aus einer Zusammenschau der klinischen und radiologischen Befunde. Bei allen Patienten konnte durch die dynamische radiologische Untersuchung eine verbesserte Einstellung des Femurkopfes in Adduktionsstellung gezeigt werden.

### 4.3 Auswertung der Vergleichsgruppe

Weitere 26 Patienten, die ebenfalls eine valgisierende Femurosteotomien erhielten, wurden ebenfalls in die Untersuchungen mit eingeschlossen. Dabei wurden folgende Grunderkrankungen berücksichtigt:

Tabelle 49: Einteilung der Patienten nach ihrer Grunderkrankung

Grunderkrankung	Häufigkeit (N=26)	Prozent (%)
Angeborene Systemerkrankungen des Bewegungsapparats	13	50,0
Bakterielle Infektion des Hüftgelenks	2	7,7
Idiopathische Achsen- und Torsionsfehler	2	7,7
Kongenitale Hüftdysplasie und -luxation	6	23,1
Mediale Schenkelhalsfraktur	2	7,7
Spastische Zerebralparese	1	3,8

Diese Patienten dienen als Vergleichsgruppe.

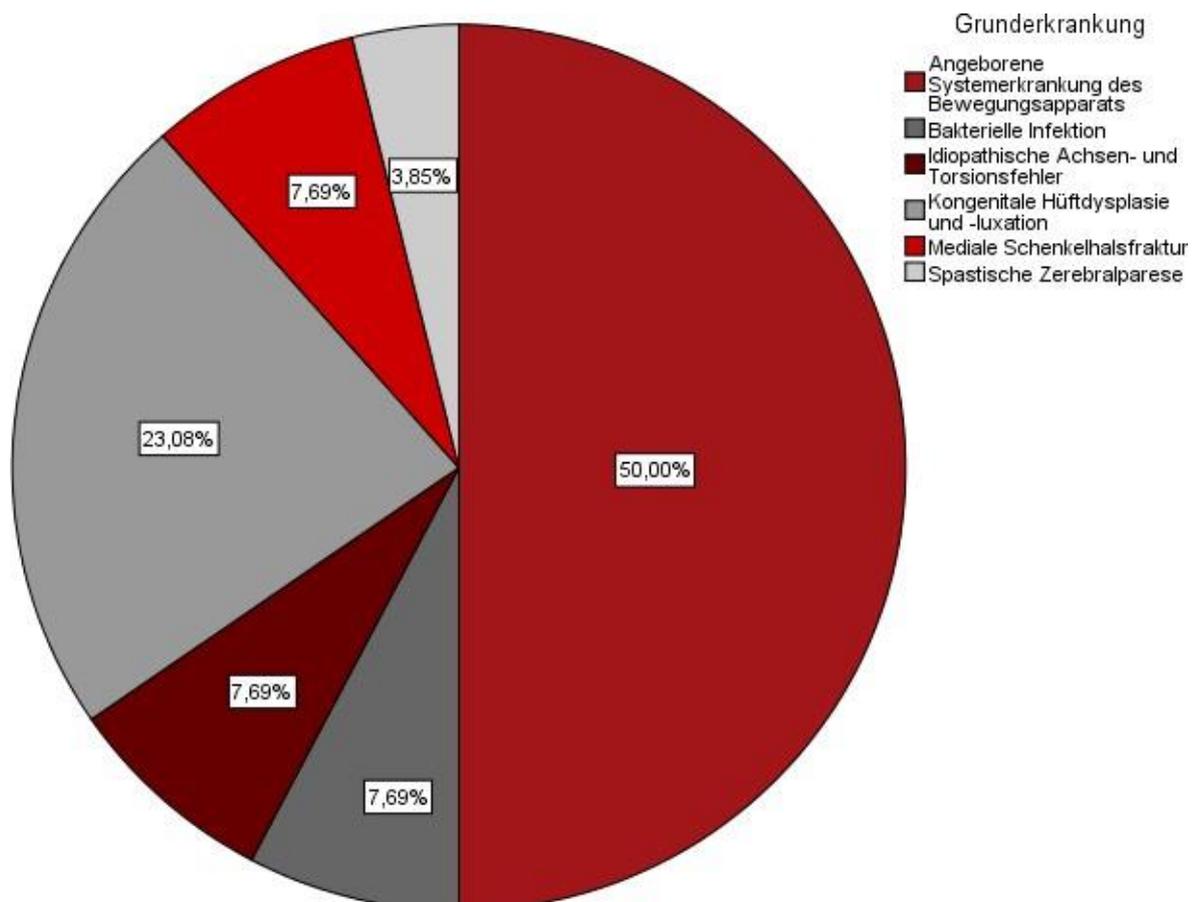


Abbildung 28: Aufteilung der Grunderkrankungen

Durch die Grunderkrankung entstand bei den Patienten eine Hüftgelenkspathologie. Bei 20 Patienten entwickelte sich eine sekundäre Coxa vara. Bei drei Patienten kam es aufgrund der

Grunderkrankung zu einer Hüftkopfnekrose (andere wie Morbus Perthes). Ein Patient wies durch die angeborene Erkrankung eine kongenitale Coxa vara auf, bei zwei Patienten entstand eine Protrusio acetabuli.

Anhand der Ätiologie der Coxa vara lässt sich folgende Einteilung erstellen:

Tabelle 50: Ätiologie der Coxa vara

Ätiologie	Anzahl (N=26)	Prozent %
Coxa vara nach kongenitaler Hüftdysplasie	6	23,1
Coxa vara nach bakterieller Coxitis	4	15,4
Coxa vara congenita	4	15,4
Coxa vara nach Schenkelhalsfraktur	2	7,7
Coxa vara bei kongenitalem Femurdefekt	3	11,5
Coxa vara mit Protrusio acetabuli	2	7,7
Sonstige Ätiologie	5	19,2

Die Patientengruppe umfasst 13 männliche und 13 weibliche Patienten. Diese sind zum Operationszeitpunkt im Mittel 14,4 Jahre alt (3,8 bis 39,8).

Sie weist eine größere Vielzahl an Methoden zur Femurvalgisation auf:

Tabelle 51: Durchgeführte Operationsverfahren

Operationsmethode	Anzahl (N=26)	Prozent (%)
Intertrochantäre Valgisationsosteotomie	8	30,8
Intertrochantäre einstauchende Valgisationsosteotomie	8	30,8
Subtrochantäre Valgisationsosteotomie	2	7,7
Subtrochantäre Angulationsosteotomie	1	3,8
Subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation	7	26,9

Als Winkel der Valgisierung im Rahmen der umstellenden Femurosteotomie erhält man als Mittelwert nach dem Operationsbericht 39,5° und mittels Messung im postoperativen Röntgenbild 35,0°.

Dabei wurde die Operation um folgende Komponenten ergänzt:

Tabelle 52: Ergänzende operative Komponente

Ergänzende Komponente	Anzahl (N=26)	Prozent (%)
Innenrotation	8	30,8
Außenrotation	1	3,8
Extension	2	7,7
Flexion	2	7,7
Verkürzung	2	7,7
Beckenosteotomie	2	7,7

Die Indikationen zur operativen Versorgung in dieser Gruppe gliedern sich wie folgt:

Tabelle 53: Einteilung nach Operationsindikation

Operationsindikation	Anzahl (N=26)	Prozent (%)
Adduktionskontraktur	6	23,1
Biomechanik	6	23,1
Hinge-abduction-Phänomen	10	38,5
Verbesserung des Containments	2	7,7
Subjektive Beschwerden	1	3,8
Hüftgelenksinstabilität bei instabiler Pseudarthrose	1	3,8

### 4.3.1 Radiologische Ergebnisse

#### 4.3.1.1 CCD-Winkel

Bei der Vergleichsgruppe ergeben sich für den CCD-Winkel der operierten Seite im zeitlichen Verlauf folgende Werte:

Tabelle 54: Ergebnisse des CCD-Winkels der operierten Seite präoperativ, postoperativ und aktuell

	präoperativ (N=26)	postoperativ (N=26)	aktuell (N=26)
Mittelwert [°]	105,9	140,9	138,7
Minimum [°]	60,1	106,3	177,4
Maximum [°]	141,1	99,6	178,2

Die geplante Aufrichtung des Schenkelhalswinkels beträgt im Mittel 39,5°.

Radiologisch kann eine Änderung des CCD-Winkels der operierten Seite von 35,0° nachgewiesen werden.

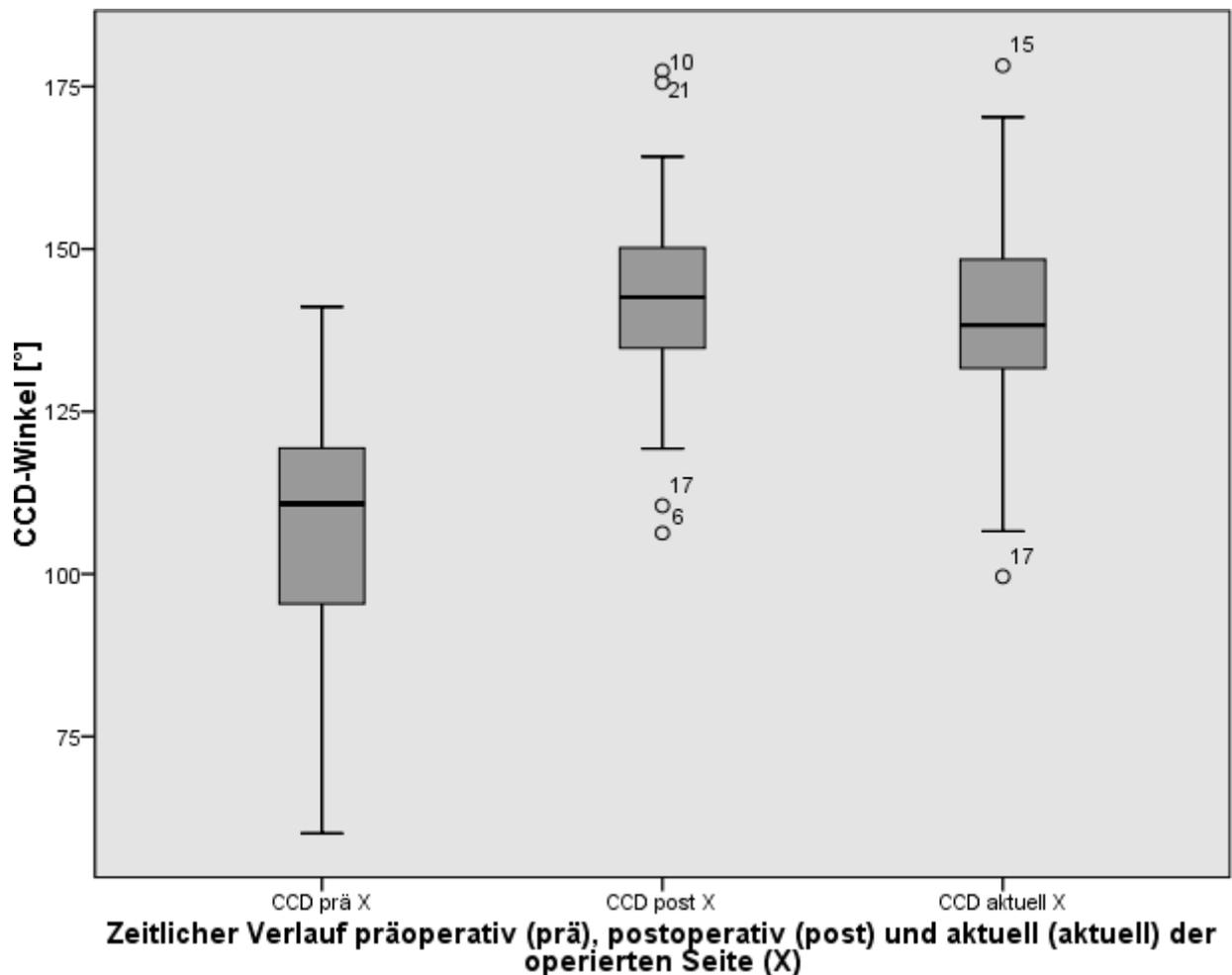


Abbildung 29: CCD-Winkel [°] der operierten Seite im zeitlichen Verlauf (präoperativ, postoperativ und aktuell) der operierten Seite (X)

Präoperativ zeigt sich ein signifikanter Unterschied der CCD-Werte der operierten Seite und der Gegenseite ( $p=0,000$ ). Zu den späteren Messzeitpunkten ist dieser Unterschied nicht mehr signifikant.

Tabelle 55: Vergleich der CCD- und Valgisationswinkel zwischen den beiden Vergleichsgruppen

	<b>Perthes Patienten (N=28)</b>	<b>Vergleichsgruppe (N=26)</b>
CCD-Winkel präoperativ Mittelwert [°]	129,5	105,9
CCD-Winkel aktuell Mittelwert [°]	131,6	138,7
Valgisationswinkel, gemessen [°]	22,9	35,0

#### 4.3.1.2 Pelvic Tilt

Für die Mittelwerte des Pelvic Tilt (PT) ergeben sich zu den drei gemessenen Zeitpunkten folgende Werte für die operierte und nicht operierte Seite:

Tabelle 56: PT-Werte der beiden Seiten im zeitlichen Verlauf

	<b>PT [°] operierte Seite (N=26)</b>	<b>PT [°] Gegenseite (N=26)</b>
präoperativ	84,2	85,6
postoperativ	92,7	81,2
aktuelles Bild	88,4	82,9

Dabei zeigt sich eine signifikante Änderung des Pelvic Tilts der operierten Seite zu den unterschiedlichen Zeitpunkten:

Tabelle 57: Mittelwertvergleich der PT-Werte

<b>Mittelwertvergleich</b>	<b>Signifikanz (p)</b>
PT präoperativ - PT postoperativ	0,002*
PT postoperativ - PT aktuell	0,044*
PT präoperativ - PT aktuell	0,035*

Die nicht operierte Seite zeigt nur vom präoperativen zum postoperativen Bild eine signifikante Änderung ( $p=0,021$ ).

Folgende Patienten weisen auf der operierten Seite einen normwertigen Pelvic Tilt auf. Der Normwertbereich wurde als  $83^\circ$  unter Einschluss eines Messfehlers von  $\pm 5^\circ$  erfasst:

Tabelle 58: Anzahl der Patienten mit normwertigem PT

	<b>präoperativ</b>	<b>postoperativ</b>	<b>aktuell</b>
Anzahl N	13	9	10
Mittelwert PT [°]	83,0	85,4	84,4

Normwert=  $83^\circ \pm 5^\circ$

Untersucht man nur die Patienten, die eine Adduktionskontraktur oder ein Hinge-abduction-Phänomen als Operationsindikation aufweisen ergeben sich folgende Daten:

Tabelle 59: PT-Werte der beiden Seiten im zeitlichen Verlauf bei Patienten mit Adduktionskontraktur oder Hinge-abduction-Phänomen

	<b>PT [°] operierte Seite</b>	<b>PT [°] Gegenseite</b>
präoperativ	85,4 (N=16)	86,8 (N=14)
postoperativ	94,0 (N=16)	81,3 (N=14)
aktuelles Bild	86,6 (N=14)	83,9 (N=12)

#### 4.3.1.3 CE-Winkel

Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte der operierten und nicht operierten Seite. Auch die Mittelwerte des CE-Winkels präoperativ, postoperativ und zum letzten gemessenen Zeitpunkt unterscheiden sich nicht signifikant.

#### 4.3.1.4 Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp)

Es ergeben sich folgende Mittelwerte zur den gemessenen Zeitpunkten:

Tabelle 60: Mittelwert des AAS der beiden Seiten zu den erhobenen Zeitpunkten

	operierte Seite (°)	nicht operierte Seite (°)
präoperativ	43,5 (N=26)	42,6 (N=20)
postoperativ	42,3 (N=26)	41,9 (N=20)
aktuelles Bild	42,8 (N=24)	41,2 (N=18)

Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied der Werte der operierten Seite zu den unterschiedlichen Zeitpunkten.

#### 4.3.1.5 Articulo-Trochanteric-Distance

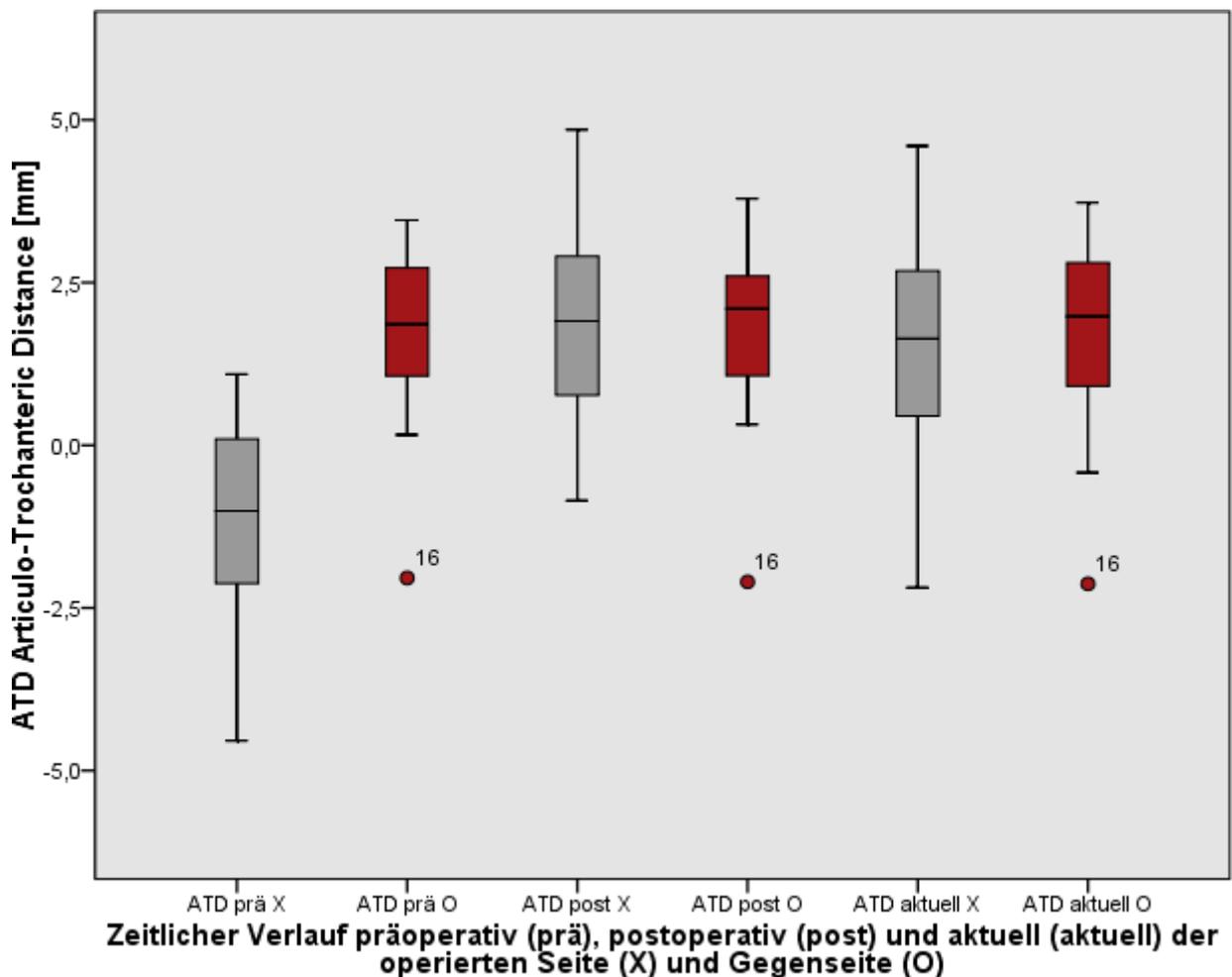


Abbildung 30: Articulo-Trochanteric-Distance (ATD) im zeitlichen Verlauf präoperativ (prä), postoperativ (post) und aktuell (aktuell) der operierten (X) und nicht operierten (O) Seite

Die Articulo-Trochanteric-Distance zeigt präoperativ einen statistisch signifikanten Unterschied der operativ versorgten Seite und der Gegenseite.

Tabelle 61: Signifikanz des Unterschieds der ATD-Werte der operierten Seite und der Gegenseite

		<b>Signifikanz (p)</b>
ATD präoperativ operierte Seite	ATD präoperativ Gegenseite	0,000*
ATD aktuell operierte Seite	ATD aktuell Gegenseite	0,931

#### 4.3.1.6 Migrationsindex nach Reimers

Der Migrationsindex nach Reimers (MI) wurde bei den N=6 Patienten mit kongenitaler Hüftdysplasie und -luxation bestimmt. Dabei lagen bei N=4 Patienten zu allen Zeitpunkten verwertbare Röntgenbilder vor. Die folgenden Patienten wiesen auf der operierten Seite ein subluxiertes Hüftgelenk mit einem MI über 33% auf:

Tabelle 62: Anzahl der Patienten mit subluxiertem Hüftgelenk

	<b>Anzahl N mit MI&gt;33%</b>	<b>Mittelwert MI (%)</b>
präoperativ N=4	3	48,6
postoperativ N=4	4	46,5
aktuelles Bild N=6	5	45,8

#### 4.3.2 Operationsindikation

In der Vergleichsgruppe war der valgisierende Eingriff aus folgenden Gründen indiziert:

Tabelle 63: Auswertung der Operationsindikation

<b>Operationsindikation</b>	<b>Anzahl N</b>	<b>Anzahl [%]</b>
Adduktionskontraktur	6	23,1
Biomechanik	6	23,1
Hinge-abduction-Phänomen	10	38,5
Verbesserung des Containment	2	7,7
Subjektive Beschwerden	1	3,8
Hüftgelenksinstabilität bei instabiler Pseudarthrose	1	3,8
Gesamt	26	100

## 5 Diskussion

Die bestmögliche Behandlungsstrategie bei der juvenilen Hüftkopfnekrose ist umstritten und weiterhin Grundlage zahlreicher Studien und Forschungsprojekte. Ein allgemein gültiges Therapieschema kann aufgrund des individuellen Krankheitsverlaufes und der zahlreichen Einflussfaktoren nicht erstellt werden. Das höchste Therapieziel ist, durch Containment-Methoden eine gute Zentrierung des erkrankten Hüftkopfes zu erreichen.

Ein komplizierter Krankheitsverlauf erschwert und begrenzt die Therapiemethoden. Meist führt er zu einer Ausheilung im Defektstadium. Ein Zeichen des Defekts und der Inkongruenz ist das Hinge-abduction-Phänomen. Antony Catterall beschrieb erstmals 1981 [67], dass dieses Phänomen bei höhergradig erkrankten Pertheskindern auftritt und die Gesamtprognose deutlich trübt. In seiner letzten Schaffensphase propagierte er für diese Patienten als „salvage procedure“ die intertrochantäre Valgisations-(Extensions-)Osteotomie.

In der Literatur ist diese Operationsmethode den Patienten mit schlechtem Ausheilungsergebnis vorbehalten und dient als letzter Ausweg vor einer Arthrodeese oder einer frühzeitigen endoprothetischen Versorgung [3].

Über den weiteren Einsatz der Methode und deren Ergebnisse gibt es noch keine anerkannten Strategien.

Da die valgisierende Femurosteotomie in der Therapie des Morbus Legg-Calvé-Perthes keine Standardmethode darstellt, liegen nur begrenzte Studien zum Vergleich vor. Bedeutende Arbeiten sind dabei die Untersuchungen von Bankes 2000 [2], Catterall 2004 [1] und Yoo 2013 [31]. Diese eignen sich durch einen ähnlichen Studienaufbau zur Beurteilung der eigenen Ergebnisse.

Durch diese Studie und unter Berücksichtigung der vorliegenden Datenlage, insbesondere der oben genannten Vergleichsstudien, soll eine genaue Untersuchung der Indikation der intertrochantären Femurvalgisation und der frühen Ergebnisse dieser Methode erfolgen. Dies soll sowohl für die Patienten mit Morbus Perthes, als auch für die Patienten mit anderer Grunderkrankung untersucht werden.

### 5.1 Methodendiskussion

#### 5.1.1 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen der retrospektiven Studie anhand der vorliegenden Anamnesedaten sowie klinischen und radiologischen Datensätze.

Die Studienpopulation besteht mit insgesamt 28 Patienten aus einem überschaubaren Patientenkollektiv. Der Nachuntersuchungszeitraum mit im Mittel von 5,5 Jahren erfasst nur

die frühen Ergebnisse. Für Langzeitergebnisse, vor allem in Bezug auf arthrotische Veränderungen des Hüftgelenks, müssen erneute Untersuchungen vorgenommen werden.

### 5.1.2 Fragebogeninstrumente

Bei den verwendeten Fragebogeninstrumenten handelt es sich um bereits national und international etablierte Fragenkataloge [42, 43, 44, 46, 78]. Die Fragen sollen dabei die Qualität *Schmerz, Funktion* und den *subjektiven Gesundheitszustand* beurteilen. Dadurch soll zum einen die Funktionalität des postoperativen Ergebnisses und zum anderen die Lebensqualität der Patienten eingeschätzt werden.

Der modified Harris Hip Score ist ein etabliertes Fragebogeninstrument für arthroskopische Hüfteingriffe [79]. Da sich jedoch subjektive Bewertungen der Hüftfunktion gut quantifizieren lassen [42] und außerdem der modifizierte Test einfach und unkompliziert durchgeführt werden kann, wurde er im Rahmen dieser Untersuchung zur Beurteilung des Operationsergebnisses gewählt.

Zum standardisierten Vergleich der gesundheitsbezogenen Lebensqualität (Health-related Quality of Life) erfolgt die Auswertung des Kidscreen-10 nach Vorgabe der Autoren.

Ergänzt wurde der Fragenkatalog mit einer Frage zur Einschätzung des allgemeinen Gesundheitszustands.

Durch die Zusammensetzung des Fragenkatalogs erhält man ein vielfach validiertes Untersuchungsinstrument und eine gute Vergleichbarkeit zu anderen Studien. Außerdem ist die einfache Durchführbarkeit von Vorteil. Berücksichtigt werden muss jedoch die unvollständige Datenerhebung aufgrund der geringen Rücklaufquote. Außerdem handelt es sich um eine subjektive Beurteilung und lediglich auf den Untersuchungszeitpunkt beschränkte Einschätzung. Des Weiteren fehlt ein präoperativer Ausgangswert.

Die gesundheitsbezogene Lebensqualität ist bisher noch ein vernachlässigtes Untersuchungskriterium in Zusammenhang mit der Morbus Legg-Calvé-Perthes Erkrankung. Palmen et al. [80] beschäftigte sich als erste Arbeit konkret mit dem Einfluss der schwerwiegenden Erkrankung und langwierigen, invasiven Therapie. Durch die gleichen verwendeten Fragenkataloge eignet sie sich sehr gut zum Vergleich.

### 5.1.3 Radiologische Messmethoden

Die verwendeten radiologischen Parameter erfassen quantitative und qualitative Messungen. Es werden die Deformität am Femurkopf und Schenkelhals beurteilt, das Azetabulum vermessen und Extrusionszeichen gemessen. Dabei handelt es sich um bewährte,

standardisierte radiologische Messmethoden [35, 48]. Außerdem wird ein neuer Messwert, der Pelvic Tilt, aufgenommen.

Berücksichtigt werden müssen Messfehler, die durch fehlerhaft angefertigte Röntgenbilder oder durch fehlerhafte Messungen vom Untersucher erfolgen können. Außerdem muss die interobserver-Variabilität beachtet werden.

Im Rahmen der Perthes-Erkrankung gibt es keine einheitlich verwendeten radiologischen Messparameter. Je nach Fragestellung und Präferenz der Autoren wird aus der unzähligen Anzahl an vorhandenen Winkeln und Messmethoden ausgewählt. Die Auswahl für diese Arbeit war unter dem Gesichtspunkt der Beurteilung des Operationsergebnisses und der Berücksichtigung der Vergleichsarbeiten von Bankes [2] und Yoo [31] erfolgt, um eine gute Gegenüberstellung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Im Hinblick auf das frühzeitige Erkennen einer schwerwiegenden Hüftpathologie wurde der Pelvic Tilt untersucht. Der Wert der lateralen Beckenverkipfung wird in dieser Arbeit erstmalig untersucht und vorgestellt.

Der Verlauf des Remodeling des erkrankten Hüftkopfes spielt für die Beurteilung des Operationsergebnisses eine wichtige Rolle. Ein Verfahren, welches einfach und standardisiert prä- und postoperativ angewandt werden kann, muss noch allgemein gültig definiert werden [2].

## 5.2 Ergebnisdiskussion

Das Patientengut der 28 an Morbus Legg-Calvé-Perthes erkrankten Patienten entspricht von der Geschlechterverteilung und der Anzahl des beidseitigen Hüftbefalls dem Verhältnis in der Normalbevölkerung [6].

Das Alter bei Diagnosestellung weist mit den Grenzen von 3,2 Jahren bis 14,9 Jahren eine große Spannweite auf. Das Erkrankungsalter gilt als bedeutendster Risikofaktor für einen prognostisch ungünstigen Verlauf [5, 6, 8, 22]. Hefti spricht von einer „magischen Grenze“ [6] bei sechs Jahren. Dabei fällt auf, dass 24 Patienten (85,7%) dieser Studie eben diese Grenze überschreiten. Das Patientenalter stimmt mit der Studie von Yoo überein, das Patientengut von Catterall war zum Operationszeitpunkt älter.

17 Patienten befinden sich zum Operationszeitpunkt im Anfangsstadium, das heißt im Kondensations- oder Fragmentationsstadium. Für dieses Krankheitsstadium geht man von einem hohen Remodellierungspotential des Femurkopfes aus, welches bis zum frühen Reparationsstadium vorhanden ist [5]. Dadurch kann man sich ein verbessertes Endergebnis erwarten. Im Vergleich zeigen sich 60,7% der eigenen Patienten, 12,9% bei Yoo und 24% bei

Catterall zum Operationszeitpunkt im Anfangsstadium. Yoo behandelte etwa doppelt so viele Patienten im Catterall Stadium IV (61,3%) (eigene 23,8%, Catterall 33,5%).

Der Nachuntersuchungszeitraum von 1,0 bis 10,5 Jahren lässt hinsichtlich der teilweise kurzen Zeitspanne noch keinen Rückschluss auf ein endgültiges Ergebnis zu.

### **5.2.1 Fragebögen**

Die Auswertung der 15 rückläufigen Fragebögen zeigt insgesamt ein exzellentes Ergebnis.

Im modified Harris Hip Score wird mit einem Mittelwert von 92 von maximal erreichbaren 100 Punkten elf Mal das beste Ergebnis erzielt. Ein ähnlich gutes Ergebnis zeigt sich bei Palmen et al. [80] mit postoperativ durchgängig exzellenten Ergebnissen.

Im Kidscreen-10 zeigt sich eine hohe Health-related Quality of Life mit einem T-Mittelwert von 57,97. Dies spricht dafür, dass sich die Kinder glücklich, fit und zufrieden fühlen in Bezug auf das Familienleben, die Peergruppe und den Schulalltag [45].

Auch bei Palmen et al. [80] zeigt sich eine höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität der Kinder mit Legg-Calvé-Perthes im Vergleich zur gesunden Vergleichsgruppe.

Die deutliche negative Korrelation mit dem Stulberg-Ergebnis spricht für den Zusammenhang des radiologischen und klinischen Ergebnisses. Ein schlechteres Stulberg-Stadium, und damit ein Hüftkopf mit höher ausgeprägter Deformität, beeinflusst die gesundheitsbezogene Lebensqualität der Patienten mehr als eine geringere Deformität.

Auch die Frage zur Einschätzung des Gesundheitszustands zeigt mit 14 guten bis ausgezeichneten Ergebnissen eine positive Auswertung. Diese korreliert hochsignifikant mit dem mHHS. Zumindest in dieser Studie können mit der einen Frage nach dem Gesundheitszustand also bereits die Schmerzen und die Funktion des Hüftgelenks der operierten Seite abgeschätzt werden.

Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass bei den unzufriedenen Patienten wohl eine geringere Rücklaufquote der Fragebögen besteht. Bezüglich der unvollständigen Daten ist ein Vergleich mit anderen Studien nicht aussagekräftig.

### **5.2.2 Klinische Zeichen**

#### **5.2.2.1 Bewegungsumfänge**

Diese Arbeit zeigt eine sehr gute Verbesserung der klinischen Funktion. Die Werte der Hüftabduktion und Hüftinnenrotation haben sich im Vergleich zum Zeitpunkt vor und nach der Operation signifikant verbessert. Dies deckt sich mit der Studie von Yoo [31], welche ebenfalls eine signifikante Verbesserung der Bewegungsumfänge des Hüftgelenks verzeichnen.

Die Verbesserung und der Erhalt der Gelenkbeweglichkeit als eines der wichtigsten Therapieziele [8] kann somit erreicht werden.

Präoperativ wurden bei allen Patienten konservative Maßnahmen, darunter Physiotherapie, zur Aufrechterhaltung und Verbesserung der Beweglichkeit durchgeführt. Da eine eingeschränkte Hüftgelenkbeweglichkeit durch das Hinge-abduction-Phänomen und Weichteilkontrakturen zu erwarten sind, sind diese Maßnahmen „Grundvoraussetzung [...] zur Verbesserung der Gelenkkongruenz“ [6].

Eine frühzeitige Bewegungseinschränkung gilt nicht nur als eine der wichtigsten Prognosefaktoren für den späteren Verlauf und das Endergebnis [6]. Sie kann auch bereits in der körperlichen Untersuchung ein Hinweis für eine Deformität und/oder Extrusion des Hüftkopfes sein [67]. Besonders die Adduktionskontraktur kann dabei als Vorstufe des Hinge-abduction-Phänomens betrachtet werden [29]. Deshalb kommt der Beurteilung der Bewegungsumfänge eine hohe Relevanz zu und sie sind im Rahmen der Indikationsstellung für ein invasives Therapieprozedere zu berücksichtigen.

### **5.2.2.2 Beinlängendifferenz**

Obwohl sich durch die Femurvalgisation im Mittel eine Reduktion der Beinlängendifferenz erreichen lässt, ist das Ergebnis nicht statistisch signifikant ( $p=0,135$ ). Dabei wurde bei  $N=8$  Patienten ergänzend eine Verkürzungsosteotomie durchgeführt, um eine präoperativ ausgeprägte Beinlängendifferenz auszugleichen. Diese Patienten weisen eine geringere Beinlängendifferenz (prä- und postoperativ) auf, jedoch im Mittel einen größeren Valgisationswinkel (nicht statistisch signifikant).

Nach Quain und Catterall [3] ist durch die valgisierende Femurosteotomie ein vorteilhafter Effekt auf die Beinlängendifferenz zu erwarten. Dies konnte somit in dieser Arbeit nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden. Eine erneute Untersuchung mit größerer Fallzahl könnte das Ergebnis relativieren. Bankes Untersuchungen [2] konnten postoperativ ebenfalls eine Reduktion der Beinlängendifferenz erzielen, jedoch gleichermaßen ohne statistische Signifikanz ( $p=0,12$ ).

Jedoch korreliert die postoperative Beinlängendifferenz mit dem Valgisationswinkel und dem aktuellen CCD-Winkel. Dies spricht zwar für einen Einfluss der Valgisation auf die Beinlänge, jedoch ohne signifikante Änderung.

Eine Korrelation der Beinlängendifferenz mit einer Einschränkung der Hüftgelenkbeweglichkeit oder dem Schweregrad der Erkrankung konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Ätiologie der präoperativen Beinlängendifferenz, welche durch eine Adduktionskontraktur oder den Kollaps der Epiphyse ausgelöst werden kann [5], kann somit in dieser Arbeit nicht statistisch relevant korreliert werden.

### 5.2.3 Radiologische Ergebnisse

#### 5.2.3.1 CCD-Winkel

Diese Arbeit zeigt, dass eine gute Aufrichtung des Schenkelhalses stattgefunden hat, wenn man die CCD-Werte der operierten Seite prä- und postoperativ vergleicht. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass diese auch unter Berücksichtigung der noch bestehenden Wachstumstendenz des Patientenguts unter 18 Jahren gut aufrechterhalten bleibt [50]. Es konnte keine Korrelation zwischen dem Alter zum Operationszeitpunkt und der postoperativen Änderung des korrigierten CCD-Winkels gefunden werden ( $p=0,656$ ). Somit ist nicht davon auszugehen, dass bei einem jungen Patientenalter ein Wachstumspotential mit einberechnet werden muss, und somit eine Überkorrektur der geplanten Valgisation stattfinden muss.

Laut den vorliegenden Unterlagen beträgt der prä- oder intraoperativ geplante valgisierende Winkel im Mittel  $28^\circ$  (12 bis  $40^\circ$ ). Damit weicht dieser um  $5^\circ$  vom radiologisch gemessenen Winkel von  $23^\circ$  ab. Es sind zufällige Fehler (Messfehler) zu berücksichtigen. Der postoperative CCD-Winkel wird bei einem Unterschied  $\pm 10^\circ$  als planungsidentisch angesehen. Dabei werden bei jeder Messung ein Messfehler von  $5^\circ$  angenommen, in Summe maximal  $10^\circ$  [81, 82]. Unter dieser Berücksichtigung weichen bei fünf Patienten die geplanten und gemessenen Winkelwerte mehr als  $10^\circ$  voneinander ab (Patient 2, 17, 19, 49, 63). Bei diesen Patienten ist durch eine Fehlstellung mit Rotation des vermessenen Beins, einem extremen Beckenschiefstand oder einem stark deformierten Schenkelhals von fehlerhaften Messungen auszugehen.

Die CCD-Winkel zu den gemessenen Zeitpunkten, der geplante Korrekturwinkel und die postoperative Änderung des CCD-Winkels finden sich vergleichbar bei Bankes und Sidler-Maier [2, 81].

Im Vergleich beträgt der Korrekturwinkel bei Bankes ebenfalls  $23^\circ$  (15 bis  $45^\circ$ ) [2]. Sidler-Maier zeigt ebenso vergleichbare CCD-Winkel präoperativ ( $130^\circ$ ) und postoperativ ( $149^\circ$ ), einen vergleichbaren gemessenen Korrekturwinkel ( $25,5^\circ$ ) und eine Änderung des CCD-Winkels im postoperativen Verlauf von  $3,4^\circ$  (eigene  $3,5^\circ$ ).

#### 5.2.3.2 Pelvic Tilt

In dieser Arbeit wird ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der *Bewegungseinschränkung* und dem *Pelvic Tilt* nachgewiesen. Des Weiteren kann durch die operative Versorgung eine korrelierende Verbesserung der beiden Werte erreicht werden.

Die Adduktionsstellung der erkrankten Hüfte als Vorstufe des Hinge-abduction-Phänomens lässt sich klinisch nachweisen und bekommt durch den neu eingeführten Pelvic Tilt einen quantifizierbaren radiologischen Messwert.

Die Insuffizienz der Hüftabduktoren kann als Äquivalenz zur Hüftadduktion gesehen werden [53]. Dies ist für unser Patientenkollektiv von Bedeutung.

Denn eine Adduktionskontraktur kann ein frühes klinisches Zeichen für die Legg-Calvé-Perthes Erkrankung darstellen [1, 47, 83, 84, 85]. Dadurch soll sich die schwerwiegende Hüftpathologie vorzeitig erkennen lassen und frühzeitig die operative Versorgung geplant werden können.

Die valgusierende Femurosteotomie ist eine „salvage procedure“ bei Vorliegen eines Hinge-abduction-Phänomens. Dem Zeichen gehen die Extrusion des Hüftkopfes und ein übermäßiges Wachstum des lateralen Segments des Femurkopfes voraus. Klinisch zeigt sich eine progrediente Bewegungseinschränkung der betroffenen Hüfte, vor allem der Hüftabduktion und der Hüftinnenrotation, eine zunehmende Fixierung in der Adduktionsstellung, möglicherweise sogar das Auftreten einer Adduktionskontraktur [1].

Zum letzten gemessenen Zeitpunkt zeigt sich die höchste Anzahl an normwertigen Pelvic Tilt-Messungen. Untersucht man den zugehörigen Pelvic Tilt-Wert der operierten Seite präoperativ, zeigt sich häufig ein geringerer Wert. Bei einem kleineren Wert kann man von einem Hinge-abduction-Phänomen ausgehen und von einer Hüftfehlstellung mit Adduktionskontraktur. Bei sieben der später normwertigen Patienten zeigen sich präoperativ ein verringerter PT-Winkel sowie eine Adduktionskontraktur. Diese kann erfolgreich durch die Operation ausgeglichen werden.

Wir postulieren somit eine Ausweitung der Operationsindikation nicht nur bei vorliegendem Hinge-abduction-Phänomen, sondern auch bei vorausgehender Einschränkung der Hüftabduktion.

### **5.2.3.3 Extrusionszeichen**

In dieser Arbeit zeigen die Extrusionszeichen keinen konkordanten Trend.

Während der Acetabulum-Head-Quotient (AHQ) gute Ergebnisse zeigt, weisen nach dem Epiphyseal-Extrusion-Index (EEI) 81% des ausgewerteten Patientengutes (N=26) eine schlechte Prognose auf. Die Tear-Drop-Distance zeigt hochsignifikant schlechtere Werte der erkrankten Seite als Hinweis für eine vorliegende Pathologie.

Bezüglich der Operationsindikation ist davon auszugehen, dass bei allen Patienten Extrusionszeichen vorliegen. Das Ziel ist es, prädiktive Werte für einen schweren

Krankheitsverlauf und eine schlechte Prognose frühzeitig zu erfassen und somit frühzeitig die optimale Behandlungsmöglichkeit zu wählen. Denn eine operative Versorgung in einem frühen Krankheitsstadium liefert durch das höhere Potential an Remodeling bessere Ergebnisse [31]. In dieser Arbeit konnte kein signifikanter Unterschied der Extrusionsparameter in der Auswertung nach den Krankheitsstadien festgestellt werden. Somit kann man von reliablen, im Anfangsstadium zu erfassenden Werten ausgehen.

Bezüglich der Korrelation der einzelnen Subluxationszeichen präoperativ zeigt sich eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem AHQ und dem EEI.

#### **Acetabulum-Head-Quotient (AHQ)**

Es liegen 19% der Patienten im enggefassten Normbereich, beziehungsweise 81% der Patienten im erweiterten Normbereich. Postoperativ befinden sich 35% der Patienten im optimalen Normbereich. Der Mittelwert der eigenen Patientengruppe zeigt einen deutlich besseren Wert als die Arbeit von Bankes [2] und Yoo [31] zu allen gemessenen Zeitpunkten. Der AHQ stellt eine mögliche laterale Extrusion des Hüftkopfes dar. Geht man, wie von Stulberg beschrieben, davon aus, dass die Extrusion mit dem Endzustand korreliert, zeigt sich in dieser Arbeit eine *signifikante negative Korrelation zwischen dem präoperativen Wert des Acetabulum-Head-Quotienten und der Stulberg-Gruppe* [20]. Bessere Ergebnisse des AHQ gehen somit mit einem besseren Endzustand einher.

#### **Epiphyseal Extrusion Index (EEI)**

Die eigenen Ergebnisse weisen präoperativ bei nur fünf von 26 Patienten eine gute Prognose mit einem Wert kleiner 20% vor.

Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch in der Arbeit von Yoo [31] wieder.

Ist davon auszugehen, dass die Operationsindikation bei schwer erkrankten Patienten und teilweise als „salvage procedure“ gestellt wurde, lässt das die schlechte Prognose des Patientengutes erwarten.

Korrelierend dazu zeigen sich in den weniger pathologischen Stulberg-Gruppen bessere EEI-Werte, welche für eine bessere Überdachung des Hüftkopfes sprechen.

#### **Tear-Drop Distance (TDD)**

In den eigenen Untersuchungen findet sich eine hoch signifikante Abweichung der erkrankten Seite von der gesunden Seite zu jedem Messzeitpunkt. Und außerdem präoperativ bei 61% der Patienten pathologische Messerwerte der erkrankten Seite. Dies spricht für ein pathologisches Geschehen und für eine Extrusion des Hüftkopfes [86].

Dieser Wert gibt nicht nur einen frühen radiologischen Hinweis auf die Perthes-Erkrankung [65], er ist auch als Teil der „Head at risk“-Zeichen prognoserelevant [65, 67, 86]. Durch die Vergrößerung des medialen Gelenkspaltes lässt sich eine Extrusion des Femurkopfes radiologisch nachweisen. Eine Erweiterung des medialen Gelenkspaltes kann außerdem ein Hinweis für ein vorliegendes Hinge-abduction-Phänomen sein [29].

Die pathologischen Befunde korrelieren mit anderen Untersuchungen [31, 86].

Der bei Dickens et al. [86] gefundene Unterschied der Anzahl der pathologischen Werte nach der Stulberg-Klassifikation lässt sich in dieser Arbeit nicht signifikant nachweisen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Fallzahl der Stulberg-Gruppe I und II sehr gering ist.

#### **5.2.3.4 Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp)**

Die eigenen Ergebnisse zeigten kein signifikantes Abweichen der Mittelwerte von dem altersspezifischen Normwert, weder der operierten Seite noch der Gegenseite.

Der im Alter physiologische Abfall des Wertes [49] konnte ebenso wie bei Bankes und Catterall [2] statistisch signifikant nachgewiesen werden. Dabei stellt sich ein signifikanter Abfall vom präoperativ bestimmten Wert bis zum letzten Follow-up der nicht operierten Seite dar. Für die operierte Seite konnte der Nachweis nicht erbracht werden.

Der Pfannenneigungswinkel beurteilt das Ausmaß der Neigung der Hüftpfanne nach lateral-kaudal in der Frontalebene. Es ist zu berücksichtigen, dass die Darstellung der Tränenfigur stark von der Position zum Röntgenshirm abhängig ist. Eine vorliegende Beckenverkipfung führt zu einer Verfälschung des Wertes [87]. Der Vorteil des Wertes ist aber, dass dieser auch noch nach Verknöcherung der y-Fuge messbar ist [35].

Da bei der Perthes-Erkrankung die Hüftpfanne nicht primär betroffen ist, sondern die Hüftkopffpathologie für die fehlende Überdachung ausschlaggebend ist, sollten die Werte nicht pathologisch sein. Dies konnte in dieser Arbeit bestätigt werden.

#### **5.2.3.5 Articulo-Trochanteric-Distance**

Auf der nicht operierten Seite zeigen sich keine pathologischen Werte, was eine gesunde Vergleichsseite bestätigt.

Die *operierte Seite* weist in der *postoperativen Messung* *signifikant höhere Mittelwerte* als präoperativ auf. Die Änderung der Differenz der prä- und postoperativen Mittelwerte korreliert mit dem radiologisch gemessenen CCD-Winkel und der Aufrichtung des Schenkelhalses.

Die Messungen bestätigen damit die durch die Valgisation und der Aufrichtung des Schenkelhalses erwartete Zunahme des Abstands zwischen Femurkopf und Trochanter major. Dabei treten pathologische Werte der ATD, bedingt durch den noch aktiven Krankheitsprozess und der erst folgenden Hüftdeformität, noch nicht in der präoperativen Messung auf. Auch bei Edgren [73] traten verminderte ATD-Werte erst im späten Reparationsstadium auf, wenn der Kopf seine finale Form erreicht hat.

Die ATD beschreibt den Abstand vom Trochanter major zum Femurkopf und folglich die Pathologie der subkapitalen Wachstumsfuge [73]. Durch abnorme Werte kommt es zu

Veränderungen der Kraftarme und somit der Biomechanik im Hüftgelenk. Laut Edgren führen diese Veränderungen zu einer Insuffizienz der Abduktoren.

Die Hirtenstab-Coxa-vara ist eine Schenkelhalsdeformität, welche sich durch die Schädigung der Epiphysenfuge im Rahmen der Morbus Perthes-Erkrankung ausbilden kann.

Durch die Pathologie entsteht eine verminderte Vorspannung der Hüftabduktoren mit folgender Insuffizienz [88].

Infolge der Valgisationsosteotomie vergrößert sich die Distanz zwischen Femurkopf und Trochanter major, was zu veränderten Kraftarmen führt.

Von den Kraftverhältnissen her entspricht diese Methode der Trochanterdistalisierung. Diese verbessert die biomechanisch ungünstigen Hebel- und Druckverhältnisse im Hüftgelenk und erhöht die muskuläre Vorspannung [89].

Somit ist durch die intertrochantäre Valgisationsosteotomie und den nachgewiesenen Änderungen der Femurkopf-Trochanter-major-Distanz eine Verbesserung der biomechanischen Verhältnisse im Hüftgelenk zu erwarten.

Ein klinisch messbarer Parameter einer ungünstigen Biomechanik wäre das Trendelenburg-Duchenne-Hinken. Im Rahmen dieser Arbeit liegen dazu jedoch keine Ergebnisse vor.

Wie von Edgren beschrieben, kann es zu einem relativen Überwachsen des Trochanter major kommen. Bei ausgesprochener Deformität können die Werte sogar negativ werden. Im Follow-up zeigt sich bei einem Patienten ein negativer ATD (Patient 12), drei weitere Patienten zeigen niedrige Werte von kleiner 16 mm (Patienten 18, 49, 72). Dabei weisen alle Patienten eine ausgeprägte Hirtenstab-Deformität des Schenkelhalses auf.

#### **5.2.3.6 Deformity Index nach Nelson**

In dieser Arbeit lässt sich der Deformity Index nach Nelson nicht statistisch signifikant mit dem Stulberg-Ergebnis korrelieren. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass nach der von Nelson vorgeschlagenen Trennung der Gruppen in Stulberg I und II sowie Stulberg III und IV sich in der ersten Gruppe nur vier Patienten zur Auswertung befinden.

Es zeigt sich jedoch eine *signifikante, negative Korrelation mit dem Herring-Stadium*. Eine ausgeprägte pathologische Hüftkopfbeteiligung geht mit einem mehr entrundeten Hüftkopf einher.

Der Deformity Index nach Nelson soll durch eine objektive Messung eine Vorhersage über das radiologische Endergebnis der Hüftkopfbeteiligung liefern. Es soll damit in der Heilungsphase die Stulberg-Klassifikation vorausgesagt werden können [90]. In dieser Arbeit zeigt sich aufgrund der zu geringen Fallzahl kein statistisch signifikanter Nachweis der Stulberg-Einteilung, jedoch eine Korrelation mit dem Grading.

In den eigenen Untersuchungen lässt sich eine *Korrelation* zwischen dem *Remodeling* und dem *Alter zum Operationszeitpunkt* sowie mit dem *Staging* feststellen.

Yoo verwendete die Änderung des Deformity Index vom präoperativen bis zum letzten Messzeitpunkt als Maß des *Remodeling des Femurkopfes* [31]. Auch Yoo et al. konnten in ihrer Arbeit eine Korrelation zwischen dem Remodeling und dem Alter zum Operationszeitpunkt feststellen. Die ebenso signifikante Korrelation mit dem Staging spricht für ein höheres Potential des Remodeling je jünger der Patient ist und je früher im Krankheitsverlauf der operative Eingriff stattfindet.

Laut dem definierten Normwert weisen präoperativ 5 Patienten einen asphärischen Hüftkopf auf, im Follow-up 10 Patienten. Der Deformity Index beurteilt dabei jedoch nicht den Grad der pathologischen Kongruenz.

#### **5.2.3.7 Mose Sphericity Index**

Von den im Follow-up gemessenen sphärischen Femurköpfen (Patient 9, 30) zeigt ein Patient mit der Stulberg-Gruppe I (Patient 30) ein sehr gutes Ergebnis. Der andere Patient (Patient 9) weist zwar einen sphärischen Hüftkopf auf, jedoch auch eine ausgeprägte Schenkelhalsdeformität, welche durch die Messung nicht erfasst wird.

Mose [9] erkennt bereits, dass durch diese Messmethode sphärische und irreguläre Hüftköpfe unterschieden werden können. Die Sphärizität des Hüftkopfes sieht er als wichtigen prognostischen Faktor. Dass jedoch auch vermeintlich irreguläre Hüftköpfe ein kongruentes Hüftgelenk bilden, wird in dieser Messung nicht berücksichtigt.

Bei der Untersuchung des Wertes ist zu beachten, dass für alle Patienten nur a.p.-Röntgenbilder der Hüfte vorlagen und somit die Messung nur in einer Ebene erfolgen konnte. Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass durch den radiologisch scholligen Zerfall der Knochenstruktur des erkrankten Femurkopfes eine sphärische Kopfform unmöglich ist. Wird jedoch die Messung im Endzustand vorgenommen, ist die prognostische Relevanz des Index hinfällig [9].

Yoo beschreibt im Follow-up hohe pathologische Werte des Mose Sphericity Index [31]. Bankes erwägt die Messmethode in diesem Zusammenhang als unbrauchbar, da die erkrankten Hüftköpfe stark entrundet sind, ein Verlust der Sphärizität allein jedoch keine präzise und langfristige prognostische Bedeutung erlaubt [2, 20].

#### **5.2.3.8 Endzustand nach Stulberg**

Über die Hälfte der eingeschlossenen Patienten weisen an der untersuchten Hüfte ein mildes bis moderates Arthroserisiko im späten Erwachsenenalter auf [20].

Wie auch bei Yoo und Bankes [2, 31] ist die größte Anzahl der Patienten im Stulberg-Stadium III. Dabei erscheint das Hüftgelenk trotz Hüftkopffpathologie radiologisch kongruent.

Der auch in dieser Arbeit nachgewiesene, signifikante Unterschied des Stulberg-Ergebnisses in verschiedenen Altersgruppen ist bereits von anderen Autoren vorbeschrieben [2]. Stulberg beschrieb in seiner Arbeit von 1981 [20] das Problem der „late-onset“-Erkrankung als Folgendes: durch das fortgeschrittene Alter bei Krankheitsbeginn, kann das Azetabulum auf eine Deformierung des Hüftkopfes, wie in diesem Fall eine Abflachung, nicht mit einer adäquaten, sich anpassenden Änderung reagieren. Es resultiert eine asphärische Inkongruenz. Dabei sind von einer Abflachung des Femurkopfes vor allem Kinder mit Krankheitsbeginn nach dem neunten Lebensjahr betroffen und von der asphärischen Inkongruenz meist Kinder mit Krankheitsbeginn nach dem elften Lebensjahr.

Das Alter ist somit aufgrund des noch hohen Remodellierungspotentials der wichtigste Prognose bestimmende Faktor und sollte damit auch bei der Wahl des Operationszeitpunkts berücksichtigt werden [5, 6].

Das Ausmessen der Röntgenbilder bei der Legg-Calvé-Perthes Erkrankung wird schon seit langer Zeit mit den Zielen durchgeführt, den Krankheitsverlauf schon bei Diagnosestellung vorherzusagen, den Vergleich von Therapiemethoden zu ermöglichen und mit Schluss auf den Endzustand auch das zukünftige Risiko einer Osteoarthrose vorherzusagen. Stulberg et al. schufen 1981 mit ihrer Gruppierung die wohl gebräuchlichste Einteilung für die Klassifikation des Endzustands mit einer guten Vergleichbarkeit und prognostischen Relevanz des Ausmaßes der Hüftdeformität [18, 20].

Eine Auswertung des Arthroserisikos ist aufgrund der zeitlichen Limitation der Arbeit nicht möglich und müsste im Langzeitverlauf wiederholt werden.

#### **5.2.4 Arthrographie und Hinge-abduction-Phänomen**

Mittels der intraoperativen Fluoroskopie oder der ergänzend durchgeführten Arthrographie konnte bei allen Patienten eine verbesserte Einstellung des Femurkopfes in das Azetabulum in Adduktionsstellung nachgewiesen werden. Dies ist aufgrund der ausgeprägten Deformität des Hüftkopfes der Fall, teilweise mit Hinge-abduction-Phänomen.

Diese Zeichen erfordern eine valgisierende Femurosteotomie, um den medialen, besser erhaltenen Femurkopfanteil in die Hauptbelastungszone einzustellen [8].

Das Hinge-abduction-Phänomen geht oft mit Beinverkürzung und Adduktionskontraktur einher [67]. Wie bereits oben beschrieben weisen viele Patienten präoperativ eine Adduktionskontraktur auf und andererseits zeigt sich ein Zusammenhang mit dem Pelvic Tilt. Diese frühen klinischen Zeichen sollen somit Hinweise auf einen schweren Krankheitsverlauf und eine ausgeprägte Femurkopfdeformität sein und die Indikation der valgisierenden Femurosteotomie prüfen lassen.

### 5.2.5 Operationsindikation

In der Literatur findet sich die proximale Femurvalgisation im Rahmen der Morbus Legg-Calvé-Perthes Erkrankung als „salvage procedure“ für deformierte und extrudierte Hüftköpfe [2, 3, 91].

Bei den Studienpatienten mit Morbus Legg-Calvé-Perthes zeigt sich ein übergroßer und extrudierter Femurkopf. Dieser weist im Arthrogramm in Adduktionsstellung eine verbesserte Einstellung in die Pfanne auf. Folglich indizierten wir die proximale Femurvalgisation.

Wir ergänzten die Indikationsstellung durch eine Funktionseinschränkung. Dazu zählt die Adduktionskontraktur. Zeigte sich im Krankheitsverlauf eine zunehmende Adduktionseinschränkung, konnte in Zusammenschau der Befunde von einem komplizierten Verlauf mit folgendem Hinge-abduction-Phänomen ausgegangen werden. Auch bei diesen Patienten zeigte sich eine Verbesserung der Gelenkkongruenz in Adduktionsstellung.

Außerdem kann bei einer Beeinträchtigung der physiologischen Biomechanik eine valgisierende Umstellungsosteotomie indiziert sein.

Bei einer pathologischen Inkongruenz des Hüftgelenks mit der Extremform des Hinge-abduction-Phänomens soll durch die operative Umstellung die Osteoarthritis als Komplikation der Inkongruenz und pathologischen Abnutzung verhindert werden. Des Weiteren werden die Hüftinstabilität und subjektive Beschwerden als Behandlungsanzeige berücksichtigt.

Auch Yoo führte eine Ausweitung der Indikation der valgisierenden Femurosteotomie durch. Statt lediglich ausgeheilte, nicht zentrierte und inkongruente Hüftgelenke zu behandeln, wurde die Operation auch in allen Krankheitsstadien durchgeführt, wenn ein irreversibles Hinge-abduction-Phänomen auftrat, sowie sich eine Verbesserung der Kongruenz in Hüftadduktionsstellung zeigte.

### 5.2.6 Vergleichsgruppe

Bei der Vergleichsgruppe handelt es sich um eine heterogene Gruppe von Patienten mit einer angeborenen oder erworbenen Erkrankung mit konsekutiver perthesähnlicher Hüftkopfverformung, bei welchen in Einzelfällen die koxale Femurvalgisation indiziert wurde. Durch die gleiche oder ähnliche Pathogenese des Hinge-abduction-Phänomens sollen zusätzliche Erkenntnisse gewonnen werden.

Die 26 Patienten weisen eine ausgeglichene Geschlechterverteilung auf. Im Vergleich zeigt sich *zum Operationszeitpunkt im Mittel ein deutlich höheres Patientenalter*. Diesbezüglich ist von einem schlechteren Remodeling aufgrund des geringeren Wachstumspotentials auszugehen.

Auch der *Valgisationswinkel* der Femurosteotomie ist in dieser Patientengruppe mit im Mittel  $39,5^\circ$  *deutlich größer*. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Unterschied zur Perthes-Gruppe

diese Patienten präoperativ eine Coxa vara aufweisen, welche in 77% der Fälle sekundär verursacht ist.

Bezüglich des Operationsverfahrens zeigt sich eine größere Vielfalt, bei dem auch subtrocantäre Umstellungsverfahren zum Einsatz gekommen sind. Aufgrund der in dieser Patientengruppe bestehenden ausgeprägten Deformität und Fehlstellung sind extreme Therapiemaßnahmen notwendig.

### **5.2.6.1 Radiologische Ergebnisse**

#### **5.2.6.1.1 CCD-Winkel**

Bei der Vergleichsgruppe zeigt sich *präoperativ* ein *varischer Schenkelhalswinkel*.

Der signifikante Unterschied der CCD-Winkel präoperativ zwischen der operierten Seite und der Gegenseite spricht für ein ausgeprägtes einseitiges pathologisches Geschehen.

Der geplante Valgisierungswinkel konnte unter Berücksichtigung von Messfehlern gut erreicht werden [81, 82]. Die extremen Valgisationswinkel sind dabei auf die präoperativ varische Schenkelhalsstellung zurückzuführen.

Im Vergleich dazu weisen vier der Perthes-Patienten präoperativ einen varischen CCD-Winkel der betroffenen Seite auf. Wie oben beschrieben kann es durch die im Rahmen der Erkrankung auftretende Schädigung der Epiphysenfuge zu einer ausgeprägten Schenkelhalsdeformität mit folgender extremer Varusstellung des Schenkelhalses kommen. Diese beiden Gruppen weisen somit durch die gleiche Schenkelhalsdeformität die gleichen, folgenden Komplikationen mit Beinverkürzung und Änderung der Biomechanik mit muskulärer Insuffizienz auf. Die intertrochantäre Valgisationsosteotomie korrigiert durch die Beinverlängerung und die Verbesserung der Kraftarme diese Pathologie.

#### **5.2.6.1.2 Pelvic Tilt**

Vom präoperativen Messzeitpunkt mit im Mittel normwertigen Pelvic Tilt zeigt sich im Follow-up eine signifikante Erhöhung des Wertes. Die Gegenseite zeigt jedoch postoperativ einen signifikant niedrigeren Wert. Eine dezidierte Untersuchung der Patienten mit nachgewiesener Adduktionskontraktur oder Hinge-abduction-Phänomen zeigt einen ähnlichen Trend der Pelvic Tilt-Auswertung. Der Messerwert erlaubt somit bei dieser Patientengruppe keinen Hinweis auf eine funktionelle Einschränkung im Hüftgelenk.

Präoperativ bestehen bei den Patienten durch ihre Grunderkrankung zum Teil sehr ausgeprägte pathologische Veränderungen im Hüftgelenk mit muskulärer Insuffizienz. Durch den operativen Eingriff mit Trochanterdistalisierung erfolgt eine Verbesserung der muskulären Vorspannung [89]. Jedoch lassen sich durch die drastischen Veränderungen präoperativ sowie die zum Teil extremen Operationsmethoden die starke Abweichung der PT-Werte erklären.

### 5.2.6.1.3 CE-Winkel

In der untersuchten Patientengruppe zeigen sich keine pathologischen Werte.

Ein pathologischer Winkel kann ein Hinweis auf eine Deformität des Azetabulum oder des Femurkopfes sein. Außerdem kann er für eine Extrusion sprechen. Bei dieser Patientengruppe ist somit jedoch nicht von einer Deformität des Azetabulums auszugehen.

### 5.2.6.1.4 Pfannenneigungswinkel (Acetabular Angle of Sharp)

Die Winkelmessung des Acetabular Angle of Sharp zeigt einen altersentsprechenden Normalbefund. Auch damit zeigt sich, dass bei dieser Patientengruppe nicht von einer Pathologie der Hüftpfanne auszugehen ist.

### 5.2.6.1.5 Articulo-Trochanteric Distance

Präoperativ zeigt sich auf der erkrankten Seite eine *signifikant erniedrigter ATD-Wert*. Dies ist durch den präoperativ varischen CCD-Winkel zu erwarten, wodurch sich der Abstand zwischen dem Hüftkopf und dem Tochanter major vermindert. Dadurch sind wie bereits erwähnt veränderte biomechanische Verhältnisse zu erwarten. Das bestätigt die Operationsindikation. Postoperativ stellt sich eine Angleichung der Werte der operierten und nicht operierten Seite dar. Dies führt zu einer Verbesserung der Biomechanik und der Hebelarme [88, 89].

### 5.2.6.1.6 Migrationsindex nach Reimers

Drei der vier präoperativ vermessenen Patienten weisen vor der operativen Versorgung ein subluxiertes Hüftgelenk auf. Bei der Indikationsstellung stand dabei jedoch die Bewegungseinschränkung im Vordergrund.

Dieser Wert gibt einen Hinweis auf die Extrusion des Femurkopfes. Alle untersuchten Patienten leiden an einer kongenitalen Hüftdysplasie oder -luxation und weisen eine ausgeprägte Deformierung des Femurkopfes auf. Durch die Grunderkrankung kam es zu einer Beinverkürzung mit Hinken und Schmerzen sowie einer Bewegungseinschränkung mit Kontraktur. Diese Symptomatik stand bei der Behandlung im Vordergrund.

### 5.2.6.1.7 Operationsindikation

Bei der Vergleichsgruppe zeigen sich präoperativ eine Beinverkürzung und ein funktionelles Defizit wie Hinken.

Durch die Schenkelhalsdeformität und Coxa vara kommt es zu einer Veränderung der Hebelarme und Kräfteverhältnisse. Dadurch tritt durch die Schenkelhalsverkürzung mit Trochanterhochstand ein Hinken auf [88, 89].

Durch die Hüftgelenksdysplasie und kongenitale Hüftgelenksluxation kommt es zu einer Extrusion des Hüftgelenks. Dies führt zu einer muskulären Dysfunktion um das Hüftgelenk, vor allem der Adduktoren [92]. Dabei stellt sich der Zusammenhang zur Vergleichsgruppe her. Im

Extremfall zeigt sich nämlich auch bei diesen Patienten ein Hinge-abduction-Phänomen. Bei Patienten mit einer Spastik und somit mit einer Adduktionskontraktur und folglich einer Beinverkürzung ist die valgisierende Umstellungsosteotomie eine seit langem angewandte, anerkannte Operationsmethode.

Durch die proximale Femurvalgisation wird einerseits eine Beinverlängerung und durch die Aufrichtung des Schenkelhalses eine Normalisierung der Biomechanik erreicht. Dadurch gelingt eine Verbesserung der Kraft- und Hebelarme und physiologische Kraftmomente am Hüftgelenk [88, 89].

Diese Gruppe zeigt durch ihre extreme Ausprägung ein deutliches Ergebnis und eine klare Verbesserung. Folgende Ziele können erreicht werden:

- Beseitigung der Adduktionskontraktur durch Verbesserung der Vorspannung durch die Valgisationsosteotomie
- Normalisierung der Biomechanik durch Änderung der Hebelarme
- Besserung der Gelenkkinematik und dadurch der Gelenkkongruenz
- Reduzierung einer Beinlängendifferenz

Dies sind alle wichtigen Punkte der Therapieziele des Morbus Legg-Calvé-Perthes. Zusammenfassend lassen sich somit durch die proximale Femurvalgisation bei vorbestehender Coxa vara die biomechanischen Verhältnisse verbessern, eine Beinlängendifferenz ausgleichen und ein Insuffizienzhinken reduzieren. Außerdem kann bei verbesserter Einstellung des Femurkopfes in Adduktionsstellung der Bewegungsumfang durch den operativen Eingriff gesteigert werden. Diese Rückschlüsse lassen sich aus der Vergleichsgruppe gewinnen.

## 5.3 Fallbeispiele

### 5.3.1 Beispiel 1: Patient 19

Alter bei Erkrankungsbeginn	13,7 Jahre
Alter zum Operationszeitpunkt	14,8 Jahre
Vorausgehender oeprativer Eingriff	nein
Staging	Fragmentationsstadium
Catterall-Gruppe	IV
Herring-Klassifikation	C
Bewegungsumfang präoperativ	Abduktion -20° Innenrotation 0
Pelvic Tilt präoperativ	74,2°
Valgisationswinkel	17°
Komplikation	2,8 Jahre nach Operation Implantation einer zementfreien Hüft-TEP
Stulberg-Gruppe	V
mHHs	91

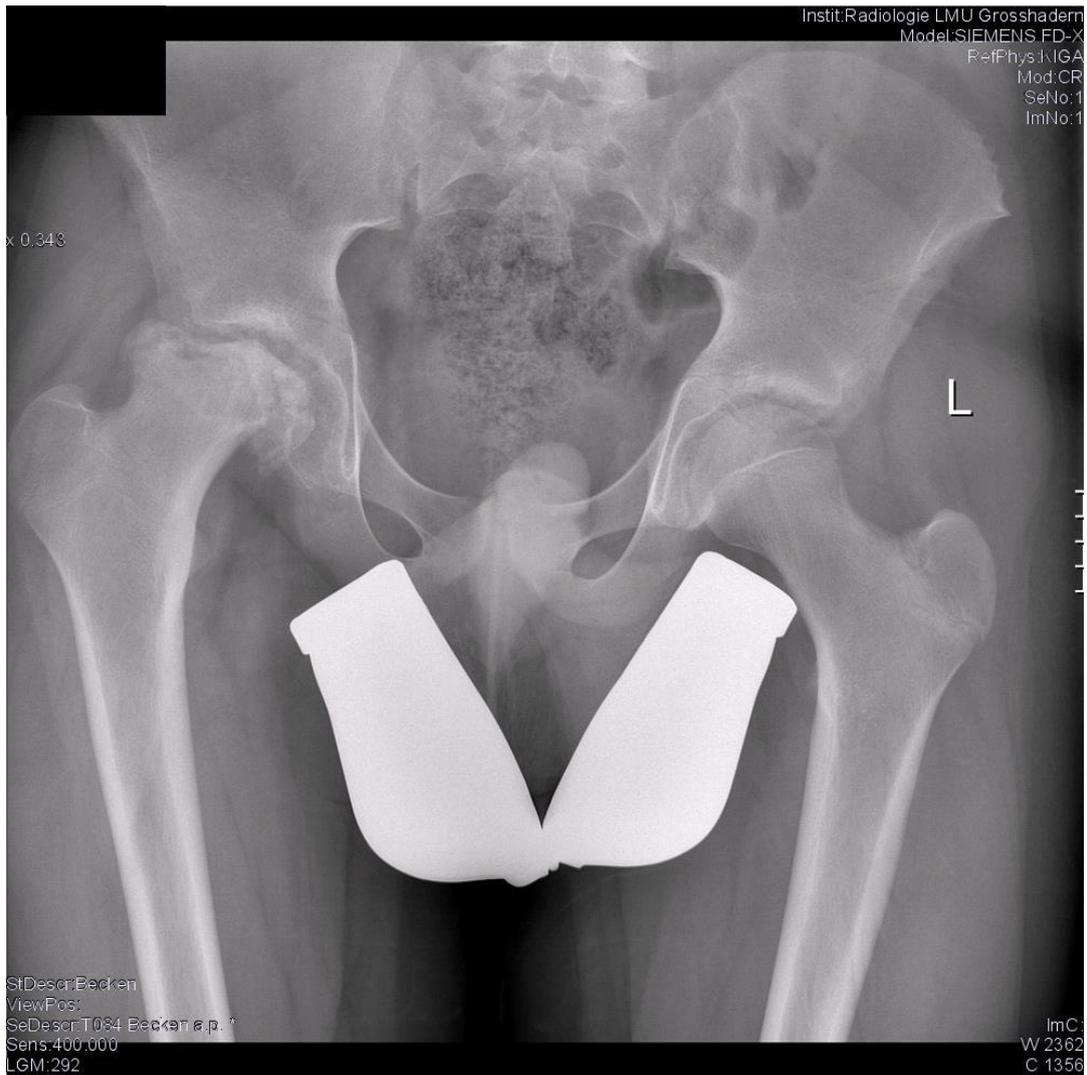


Abbildung 31: Patient 19, Erkrankung der rechten Hüftseite, präoperatives Bild  
Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

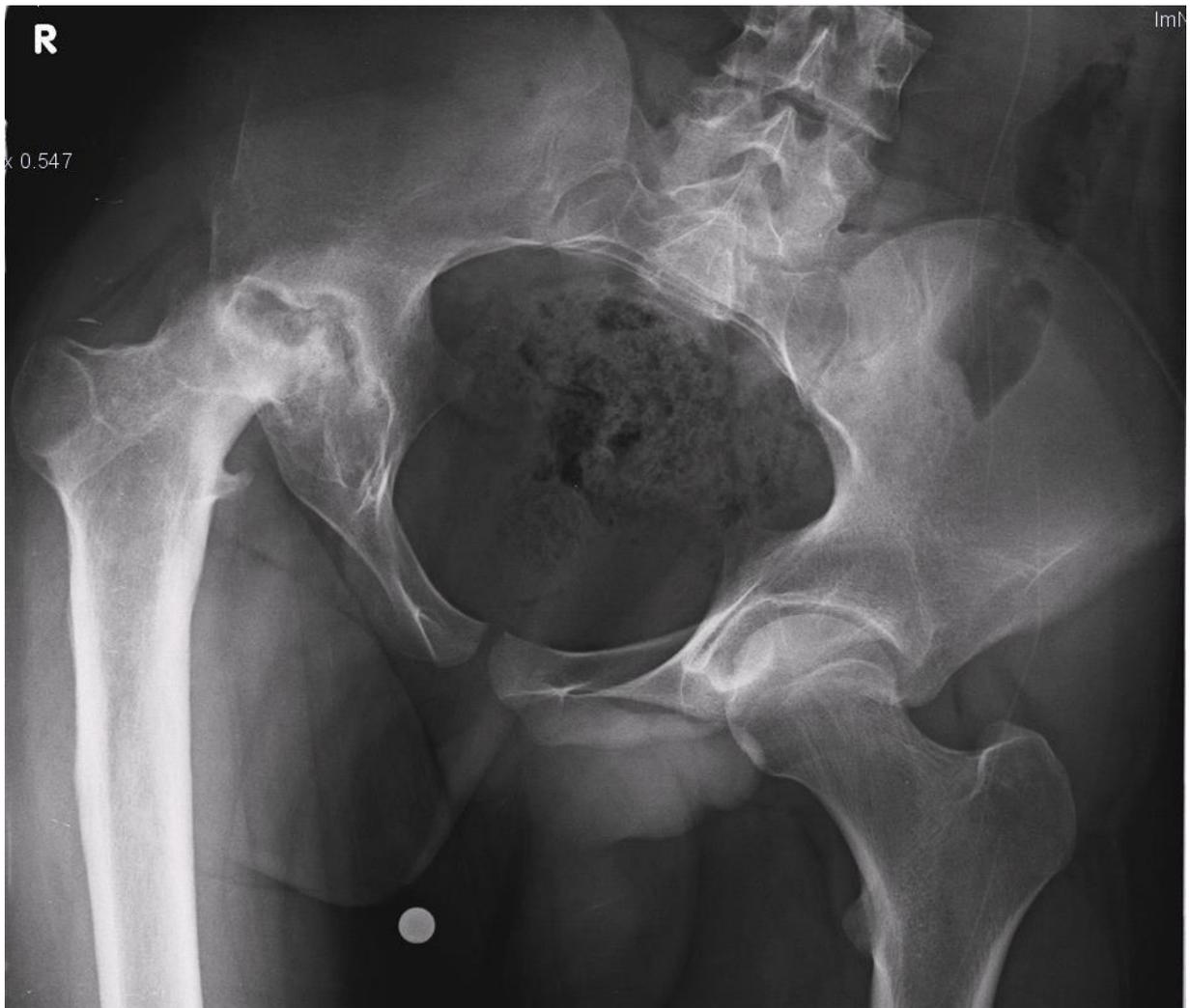


Abbildung 32: Patient 19, Erkrankung der rechten Hüftseite, postoperatives Bild  
Quelle: *Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München*

**5.3.2 Beispiel 2: Patient 30**

Alter bei Erkrankungsbeginn	4,5 Jahre
Alter zum Operationszeitpunkt	6,2 Jahre
Vorausgehender operativer Eingriff	nein
Staging	Fragmentationsstadium
Catterall-Gruppe	III
Herring-Klassifikation	B
Pelvic Tilt präoperativ	74,3°
Valgisationswinkel	30°
Komplikation	4,7 Jahre nach Operation Arthroskopie mit Bump-Resektion
Stulberg-Gruppe	I



Abbildung 33: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, präoperatives Bild

Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München



Abbildung 34: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, postoperatives Bild  
Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

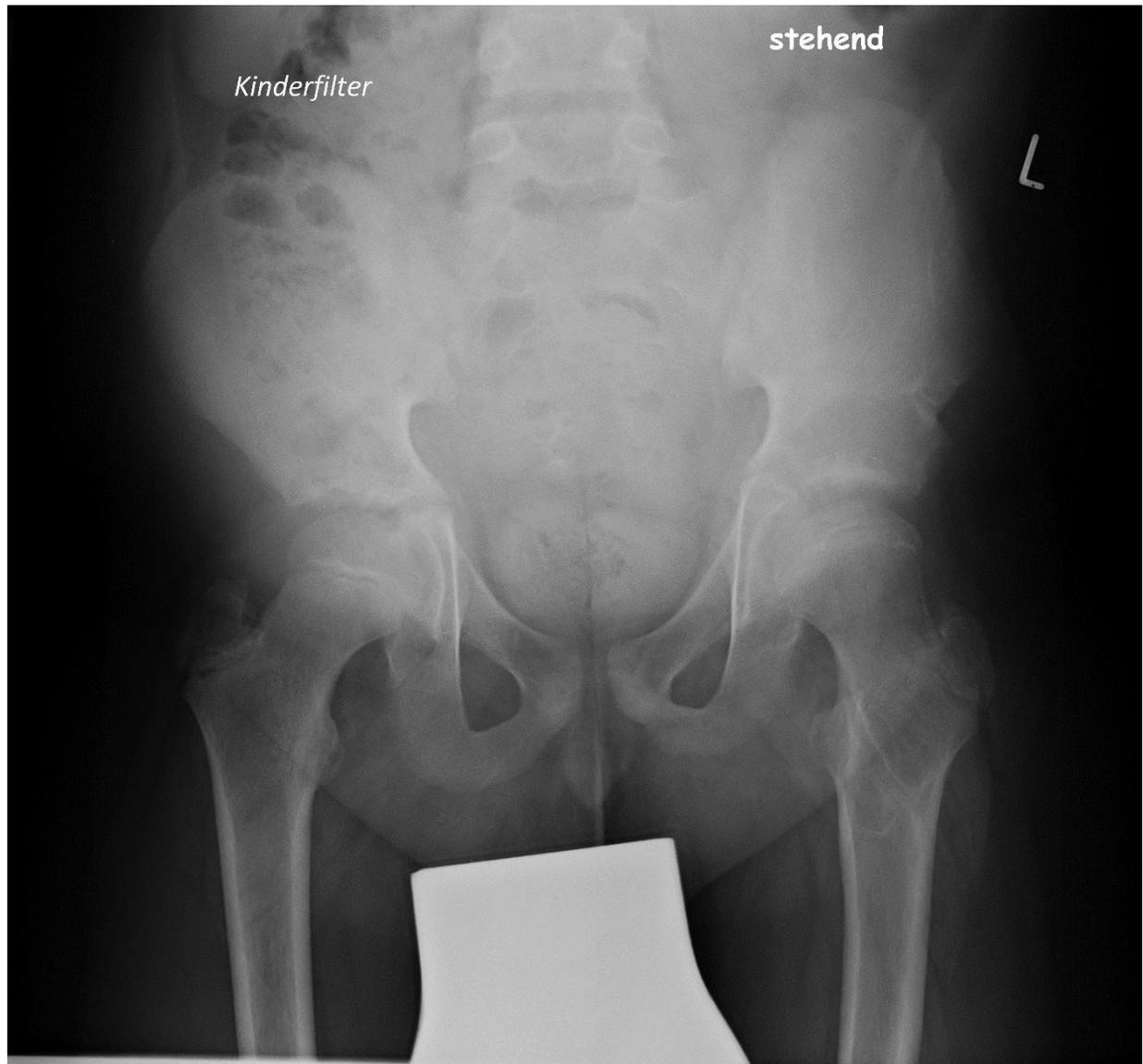


Abbildung 35: Patient 30, Erkrankung der linken Hüftseite, aktuelles Bild  
Quelle: Archiv der Orthopädischen Klinik und Poliklinik des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität München

## 5.4 Schlussfolgerung und Ausblick

Sobald eine Defektheilung und ein Hinge-abduction-Phänomen vorliegt, wird die Therapie als „salvage procedure“ angesehen [2, 91, 93].

Die Vergleichsgruppe beschreibt in Extremform eine vergleichbare Pathologie und ähnliche Komplikationen, welche im Rahmen der Morbus Perthes Erkrankung auftreten.

Bei der Vergleichsgruppe entsteht durch die Grunderkrankung bedingt, oder sekundär, eine Coxa vara. Ähnlich wie beim Morbus Perthes leiden davon manche Patienten an einer Schädigung der Epiphysenfuge. Die Morbus Legg-Calvé-Perthes Erkrankung führt häufig zu einer Schenkelhalsdeformität und Coxa vara [38], im Extremfall tritt eine Hirtenstabdeformität auf. Dies führt zu einer Beinlängenverkürzung und durch die Veränderung der Biomechanik zu einem hinkenden Gangbild.

Die Adduktionskontraktur entsteht im Rahmen der Morbus Legg-Calvé-Perthes Erkrankung durch eine Extrusion des Femurkopfes [31]. Durch die Deformität des Femurkopfes und das Hinge-abduction-Phänomen kommt es zu einer Bewegungseinschränkung mit Anschlagen des übergroßen, lateralisierten Hüftkopfes an den Pfannenrand.

Dies sind exakt Probleme, welche durch die valgisierende Femurosteotomie verbessert werden können:

- Beseitigung einer möglichen Beinlängendifferenz [2]
- Normalisierung der Biomechanik durch Änderung der Hebelarme (durch Trochanterdistalisierung) [88, 89]
- Verbesserung der Hüftabduktionsfähigkeit durch verbesserte Einstellung des Femurkopfes im Azetabulum und somit Beseitigung des knöchernen Hindernisses [31]
- Beseitigung der Adduktionskontraktur durch Verbesserung der Vorspannung [94]
- Besserung der Gelenkkinematik und dadurch der Gelenkkongruenz
- Herausdrehen der Hüftkopfdeformität aus der Belastungszone.

Wir sehen die Operationsmethode somit nicht als „salvage procedure“, als letzten Ausweg, sondern als eine Möglichkeit, eine Verbesserung des Containments zu erreichen und dadurch eine Verbesserung der klinischen Beschwerden, der Hüftgelenksbeweglichkeit und der biomechanischen Verhältnisse am Hüftgelenk zu schaffen. Schmerzen können reduziert werden, das Gangbild und die Gelenkmobilität verbessert werden. Durch die Operation sollen die frühe Abnutzung und Osteoarthritis und der frühzeitige Gelenkersatz verhindert werden.

Dadurch werden die drei wesentlichen Therapieziele des Morbus Perthes erreicht [5, 6]. Die proximale Femurvalgisation ist somit nicht alleinig „salvage procedure“ sondern auch als Primärtherapie indiziert.

Durch die Therapiemethode kann es folglich auch bei einem durch den Wiederaufbau deformiertem Hüftkopf zu den oben genannten Verbesserungen kommen [38].

Durch eine Operation im frühen Erkrankungsstadium und jungem Patientenalter kann durch das Wachstumspotential auf einen positiven Remodellierungseffekt gesetzt werden. Vor der Reossifikation soll durch die Therapiemethoden ein gutes Containment und eine möglichst adaptive Form des Hüftkopfes und des Azetabulums erreicht werden.

Somit ist die proximale Femurvalgisation als vielversprechende Therapiemethode zu sehen, welche bei drohender oder bereits entstandener Defektheilung eine klinische und radiologische Besserung ermöglicht.

## 6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Indikationsstellung und Ergebnisse der intertrochantären Femurvalgisation im Rahmen der Morbus Legg-Calvé-Perthes-Erkrankung im Zusammenhang mit vergleichbaren Studien zu untersuchen. Dies sollte insbesondere unter Berücksichtigung der positiven Ergebnisse der beiden Erstbeschreiber der Methode [1, 2, 31] erfolgen. Dabei wurde eine Patientengruppe mit anderer Grunderkrankung aber ähnlicher Hüftkopfdeformität verglichen.

Die retrospektive Studie umfasste 28 Patienten mit Morbus Legg-Calvé-Perthes sowie eine heterogene Vergleichsgruppe von 26 Patienten mit ähnlicher Beschwerdesymptomatik und Hüftgelenkspathologie. Einschlusskriterium war die Durchführung einer koxalen Femurvalgisation im Zeitraum von 2004 bis 2013 am Klinikum der Universität München, Klinik für Kinderorthopädie. Im Rahmen der Untersuchung erfolgte eine Auswertung der Krankenakten und der klinischen Untersuchungen sowie eine radiologische Vermessung der prä- und postoperativ angefertigten Röntgenbilder mit einem mittleren Follow-up von 5,5 Jahren.

Durch die Femurvalgisation erfolgte eine Aufrichtung des Schenkelhalses um im Mittel  $23^\circ$ . Die Auswertung ergab nach der Femurvalgisation einen gesteigerten Bewegungsumfang mit einer signifikanten Verbesserung der Hüftabduktion um  $30,5^\circ$  und der Hüftinnenrotation um  $10,3^\circ$ . Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen einer präoperativen Einschränkung des Bewegungsumfangs im Hüftgelenk und des Pelvic Tilt als Messwert der lateralen Beckenverkipfung ( $p=0,000$ ) war nachweisbar. Weiter waren radiologisch Extrusionszeichen vorhanden: bei 61% der Patienten bestanden präoperativ pathologische Tear-Drop-Distance-Werte und 81% der Patienten wiesen mit einem erhöhten Epiphyseal-Extrusion-Index eine schlechte Prognose bezüglich des Endergebnisses auf.

Das Remodeling (Änderung des präoperativen zum postoperativen Deformity Index nach Nelson) lieferte eine signifikante negative Korrelation mit dem Patientenalter ( $p=0,025$ ) und der Staging-Gruppe ( $p=0,041$ ). Wie auch in den beiden Vergleichsstudien wies der größte Patientenanteil eine pathologische Kongruenz im Sinne eines Stulberg-Stadiums III auf. Der signifikante Unterschied der Stulberg-Ergebnisse nach dem Risikofaktor „Alter bei Erkrankungsbeginn“ konnte bestätigt werden ( $p=0,032$ ).

Im Rahmen der Auswertung der Fragebögen zeigten sich sehr gute Ergebnisse der subjektiven Einschätzung der postoperativen Funktion des betroffenen Hüftgelenks und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

Als Indikationsstellung für die koxale Femurvalgisation fand sich zusätzlich zum Hinge-abduction-Phänomen eine zunehmende Abduktionseinschränkung unter Berücksichtigung

einer verbesserten arthrographischen Einstellung des Hüftkopfes in Adduktionsstellung. Bezüglich der prognostisch günstigen Faktoren konnten zusätzlich zum niedrigeren Patientenalter, eine Operation im frühen Krankheitsstadium und eine beginnende Adduktionskontraktur nachgewiesen werden.

Die Vergleichsgruppe zeigte mit einem präoperativ varischem Schenkelhals und einem Valgisationswinkel von im Mittel  $39,5^\circ$  eine Extremform der präoperativ bestehenden Deformität. Die postoperative Verbesserung der Biomechanik und Gelenkkongruenz zeigte sich analog der Ergebnisse der Perthes-Patienten.

Die Interpretation der Ergebnisse bestätigte die Resultate der Erstbeschreiber [1, 2]. Dabei konnte eine subjektive und objektive Verbesserung der klinischen Funktion nachgewiesen werden, sowie eine radiologisch gebesserte Kongruenz und Gelenkkinematik.

Wir appellieren, die intertrochantäre Femurvalgisation bei deformiertem Hüftkopf mit Abduktionseinschränkung und im Extremfall Hinge-abduction-Phänomen mit verbesserter Einstellung des Hüftgelenkes in Adduktionsstellung als erfolgversprechende Therapiemethode zu berücksichtigen.

## Literaturverzeichnis

1. **Catterall A.** The place of valgus extension femoral osteotomy in the late management of children with Perthes' disease. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2004; 6: 764–69.
2. **Bankes MJ, Catterall A, Hashemi-Nejad A.** Valgus extension osteotomy for 'hinge abduction' in Perthes' disease. Results at maturity and factors influencing the radiological outcome. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 2000; 82: 548–54.
3. **Quain S, Catterall A.** Hinge abduction of the hip. Diagnosis and treatment. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 1986; 68: 61–64.
4. **Grifka J, Kleinert H, Krämer J.** Orthopädie, Unfallchirurgie. 8th ed. Springer-Lehrbuch. Heidelberg: Springer; 2007.
5. **Nelitz M, Lippacher S, Krauspe R, Reichel H.** Morbus Perthes: Diagnostische und therapeutische Prinzipien; 2009.
6. **Hefti F.** Kinderorthopädie in der Praxis. 2nd ed. Heidelberg: Springer Verlag; 2006.
7. **Nelitz M, Lippacher S, Krauspe R, Reichel H.** Perthes disease: current principles of diagnosis and treatment. *Deutsches Arzteblatt international.* 2009; 106: 517–23.
8. **Adolf S, Manig M, Meurer A.** Aktueller Stand der Therapie des Morbus Perthes. 010–016; 2014; 1.
9. **Mose K.** Methods of measuring in Legg-Calve-Perthes disease with special regard to the prognosis. *Clin Orthop Relat Res.* 1980: 103–09.
10. **Waldenström H.** The Definite Form of the Coxa Plana. M.D. *Acta Radiologica.* 1922; 1: 384–94.
11. **Imhoff A, Linke R, Baumgartner R.** Checkliste Orthopädie. 3rd ed. s.l.: Georg Thieme Verlag KG; 2014.
12. **O'Garra JA.** The radiographic changes in Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br.* 1959; 41-B: 465–76.
13. **Catterall A.** The natural history of Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br.* 1971; 53: 37–53.
14. **Herring JA, Neustadt JB, Williams JJ, Early JS, Browne RH.** The lateral pillar classification of Legg-Calve-Perthes disease. *J Pediatr Orthop.* 1992; 12: 143–50.
15. **Ritterbusch JF, Shantharam SS, Gelinas C.** Comparison of lateral pillar classification and Catterall classification of Legg-Calve-Perthes' disease. *Journal of pediatric orthopedics.* 1993; 13: 200–02.
16. **Herring JA, Kim HT, Browne R.** Legg-Calve-Perthes disease. Part II: Prospective multicenter study of the effect of treatment on outcome. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86-A: 2121–34.

17. **Salter RB, Thompson GH.** Legg-Calve-Perthes disease: The prognostic significance of the subchondral fracture and a two-group classification of the femoral head involvement. *J Bone Joint Surg Am.* 1984; 66: 479–89.
18. **Kuo KN, Wu K, Smith PA, Shih S, Altiok H.** Classification of Legg-Calvé-Perthes disease. *J Pediatr Orthop.* 2011; 31: S168-73.
19. **Ponseti IV, Cotton RL.** Legg-Calvé-Perthes Disease—Pathogenesis and Evolution: Failure of Treatment with L-Triiodothyronine. *Journal of Bone and Joint Surgery.* 1961; 43/1: 261–74.
20. **Stulberg SD, Cooperman DR, Wallensten R.** The natural history of Legg-Calve-Perthes disease. *J Bone Joint Surg Am.* 1981; 63: 1095–108.
21. **Herring JA, Kim HT, Browne R.** Legg-Calvé-Perthes Disease: Part I: Classification of Radiographs with use of the Modified Lateral Pillar and Stulberg Classification. 2004: 2103–20.
22. **Herring JA.** Legg-Calve-Perthes disease at 100: a review of evidence-based treatment. *Journal of pediatric orthopedics.* 2011; 31: S137-40.
23. **Lee DS, Jung ST, Kim KH, Lee JJ.** Prognostic value of modified lateral pillar classification in Legg-Calve-Perthes disease. *Clinics in orthopedic surgery.* 2009; 1: 222–29.
24. **Kohn D, Wirth CJ, John H.** The function of the Thomas splint. An experimental study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery.* 1991; 111: 26–28.
25. **Thompson GH.** Legg-Calvé-Perthes disease. In *Birch JG (Hrsg.): AAOS Instructional Course Lectures. Rosemont: American Academy of Orthopedic Surgeons.* 2006: 27–44.
26. **Kohn D, Pohlemann T.** Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
27. **Sœur R, Racker C de.** The anatomopathologic aspect of osteochondritis and the pathogenic theories which are relevant. I. *Acta Orthop Belg.* 1952; 18: 57–102.
28. **Wiig O, Terjesen T, Svenningsen S.** Prognostic factors and outcome of treatment in Perthes' disease: a prospective study of 368 patients with five-year follow-up. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 2008; 90: 1364–71.
29. **Choi IH, Yoo WJ, Cho T, Moon HJ.** Principles of treatment in late stages of Perthes disease. *The Orthopedic clinics of North America.* 2011; 42: 341-8, vi.
30. **Raney EM, Grogan DP, Hurley ME, Ogden MJA.** The role of proximal femoral valgus osteotomy in Legg-Calve-Perthes disease. *Orthopedics.* 2002; 25: 513–17.
31. **Yoo WJ, Choi IH, Moon HJ, Chang S, Cho TJ, Choi YH, et al.** Valgus femoral osteotomy for noncontainable Perthes hips: prognostic factors of remodeling. *Journal of pediatric orthopedics.* 2013; 33: 650–55.

32. **Heimkes B, Komm M, Melcher C.** Subtrochantäre End-zu-Seit-Valgisation zur Therapie der schweren kindlichen Coxa vara. *Oper Orthop Traumatol.* 2009; 21: 97–111.
33. **Borden J, Spencer, G E Jr, Herndon CH.** Treatment of coxa vara in children by means of a modified osteotomy. *J Bone Joint Surg Am.* 1966; 48: 1106–10.
34. **Günther, Christian M J, Komm M, Jansson V, Heimkes B.** Midterm results after subtrochanteric end-to-side valgization osteotomy in severe infantile coxa vara. *J Pediatr Orthop.* 2013; 33: 353–60.
35. **Tönnis D.** Die angeborene Hüft dysplasie und Hüftluxation im Kindes- und Erwachsenenalter: Grundlagen, Diagnostik, konservative u. operative Behandlung. Berlin: Springer; 1984.
36. **Ganz R, Horowitz K, Leunig M.** Algorithm for femoral and periacetabular osteotomies in complex hip deformities. *Clinical orthopaedics and related research.* 2010; 468: 3168–80.
37. **Ganz R, Huff TW, Leunig M.** Extended retinacular soft-tissue flap for intra-articular hip surgery: surgical technique, indications, and results of application. *Instructional course lectures.* 2009; 58: 241–55.
38. **Paley D.** The treatment of femoral head deformity and coxa magna by the Ganz femoral head reduction osteotomy. *The Orthopedic clinics of North America.* 2011; 42: 389-99, viii.
39. **Grossbard GD.** Hip pain during adolescence after Perthes' disease. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 1981; 63B: 572–74.
40. **Catterall A, Lloyd-Roberts GC.** Legg-Calvé-Perthes' disease. Current problems in orthopaedics. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1982.
41. FOMT. Harris Hip Score: deutsche Version.
42. **Byrd JW, Jones KS.** Prospective analysis of hip arthroscopy with 2-year follow-up. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association.* 2000; 16: 578–87.
43. **Ravens-Sieberer U, Erhart M, Rajmil L, Herdman M, Auquier P, Bruil J, et al.** Reliability, construct and criterion validity of the KIDSCREEN-10 score: a short measure for children and adolescents' well-being and health-related quality of life. *Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation.* 2010; 19: 1487–500.
44. **Ravens-Sieberer U, Ottova V, Hillebrandt D, Klasen F.** Gesundheitsbezogene Lebensqualität und psychische Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland: Ergebnisse aus der deutschen HBSC-Studie 2006-2010.

- Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))*. 2012; 74 Suppl: S33-41.
45. **Ravens-Sieberer U**. The Kidscreen questionnaires: Quality of life questionnaires for children and adolescents ; handbook [incl. CD-ROM]. Lengerich: Pabst Science Publ; 2006.
  46. **Ravens-Sieberer U, Gosch A, Rajmil L, Erhart M, Bruil J, Duer W, et al**. KIDSCREEN-52 quality-of-life measure for children and adolescents. *Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research*. 2005; 5: 353–64.
  47. **Müller ME**. Die hüftnahen Femurosteotomien. Stuttgart: Thieme; 1957.
  48. **Waldt S, Eiber M, Wörtler K**. Messverfahren und Klassifikationssysteme in der muskuloskelettalen Radiologie: Mit 75 Tab. Stuttgart: Thieme; 2011.
  49. **Hellinger J**. Messmethoden in der Skelettradiologie: Linien, Distanzen, Winkel und ihre klinische Bedeutung. Stuttgart [etc.]: Georg Thieme Verl; 1995.
  50. **Aumüller G**. Anatomie: 208 Tabellen. 2nd ed. Duale Reihe. Stuttgart: Thieme; 2010.
  51. **Lonstein JE, Beck K**. Hip dislocation and subluxation in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 1986; 6: 521–26.
  52. **Vialle R, Delecourt C, Morin C**. Surgical treatment of scoliosis with pelvic obliquity in cerebral palsy: the influence of intraoperative traction. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006; 31: 1461–66.
  53. **Pafilas D, Nayagam S**. The pelvic support osteotomy: indications and preoperative planning. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2008; 3: 83–92.
  54. **Yrjönen T, Hoikka V, Poussa M, Osterman K**. Leg-length inequality and low-back pain after Perthes' disease: a 28-47-year follow-up of 96 patients. *Journal of spinal disorders*. 1992; 5: 443–47.
  55. **Wang C, Wang T, Wu K, Huang S, Kuo KN**. The comparative, long-term effect of the Salter osteotomy and Pemberton acetabuloplasty on pelvic height, scoliosis and functional outcome. *The bone & joint journal*. 2016; 98-B: 1145–50.
  56. **Stylianides GA, Beaulieu M, Dalleau G, Rivard C, Allard P**. Iliac crest orientation and geometry in able-bodied and non-treated adolescent idiopathic scoliosis girls with moderate and severe spinal deformity. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2012; 21: 725–32.
  57. **Hoikka V, Ylikoski M, Tallroth K**. Leg-length inequality has poor correlation with lumbar scoliosis. A radiological study of 100 patients with chronic low-back pain. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 1989; 108: 173–75.

58. **Williams P, Stewart C, Dawson T, Roberts A.** A comparison of the biomechanical effects of opening and closing wedge varus osteotomies in Perthes' disease. *Journal of pediatric orthopedics. Part B.* 2002; 11: 229–35.
59. **Callaghan JJ, Rosenberg AG, Rubash HE.** The Adult Hip, Bd. 2: Lippincott-Raven Publishers; 1998.
60. **Heymann CH, Herndon CH.** Legg-Perthes disease: A method for the measurement of the roentgenographic result. *J Bone Joint Surg Am.* 1950; 32: 767–78.
61. **Shapiro F.** Pediatric Orthopedic Deformities: Elsevier Science; 2002.
62. **Heymann CH.** Late results of treatment of congenital dislocation of the hip. *JAMA.* 1936; 106: 11.
63. **Green NE, Beauchamp RD, Griffin PP.** Epiphyseal extrusion as a prognostic index in Legg-Calve-Perthes disease. *J Bone Joint Surg Am.* 1981; 63: 900–05.
64. **Eyring EJ, Bjornson DR, Peterson CA.** Early diagnostic and prognostic signs in Legg-Calvé-Perthes disease. *American Journal of Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine.* 1965: 382–87.
65. **Waldenström H.** The first stages of coxa plana. *Journal of Bone and Joint Surgery Am.* 1938: 559–66.
66. **Sundt H.** Further investigations respecting malum coxae calvé-legg-perthes. *Acta chirurgica Scandinavica. Supplementum., Vol 148.* Oslo: Tengs; 1949.
67. **Catterall A.** Legg-Calve-Perthes syndrome. *Clinical orthopaedics and related research.* 1981: 41–52.
68. **Goff CW:** Legg-Calvé-Perthes Syndrome and related Osteochondroses of Youth. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas Publisher; 1954.
69. **Horwitz T.** The deformity in Legg-Calvé-Perthes disease. *Bull. Hosp- Joint Dis.* 1960: 181.
70. **Caan P:** Osteochondritis deformans juvenilis coxae. Coxa plana, Calvé-Legg-Perthes Krankheit. *Ergebn. d. Chir. u. Orthop.* 1924: 64.
71. **Perthes G.** Über Osteochondritis deformans juvenilis. *Arch. f. klin. Chir.* 1913: 779.
72. **Langenskiöld A, Salenius P.** Epiphyseodesis of the Greater Trochanter. *Acta Orthop Scand.* 1967: 199–219.
73. **Edgren W.** Coxa Plana: A clinical and radiological investigation with particular reference to the importance of the metaphyseal changes for the final shape of the proximal part of the femur. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1965: 1–129.
74. **Nelson D, Zenios M, Ward K, Ramachandran M, Little DG.** The deformity index as a predictor of final radiological outcome in Perthes' disease. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 2007; 89: 1369–74.

75. **Mezzari A.** Sul valore del segno di Shenton per la diagnosi radiografica della lussatione congenital dell'anca nella prima infanzia. *La Radiologia Medica*. 1928.
76. **Mathews AS, Jones, M.H. & Sperling, S.C.** Hip Derangements seen in Cerebral Palsied Children. *American Journal of Physical Medicine*. 1953.
77. **Reimers J.** The Stability of the Hip in Children: A radiological study of the results of muscle surgery in cerebral palsy. *Acta orthopaedica Scandinavica : Supplementum*, no. 184. Copenhagen: Munksgaard; 1980.
78. **Harris WH.** Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 1969; 51: 737–55.
79. **Dwyer MK, Green M, McCarthy JC.** Assessing outcomes following arthroscopic labral debridement-what can the IHOT-33 reveal? *Journal of hip preservation surgery*. 2015; 2: 152–57.
80. **Palmen NK, Zilkens C, Rosenthal D, Krauspe R, Hefter H, Westhoff B.** Post-operative quality of life in children with severe perthes disease: differences to matched controls and correlation with clinical function. *Orthopedic reviews*. 2014; 6: 5567.
81. **Sidler-Maier CC, Reidy K, Huber H, Dierauer S, Ramseier LE.** LCP 140° Pediatric Hip Plate for fixation of proximal femoral valgisation osteotomy. *Journal of children's orthopaedics*. 2014; 8: 29–35.
82. **Wilson JD, Eardley W, Odak S, Jennings A.** To what degree is digital imaging reliable? Validation of femoral neck shaft angle measurement in the era of picture archiving and communication systems. *The British journal of radiology*. 2011; 84: 375–79.
83. **Cramer K.** Ueber die Stellung der Knorpelfuge des Schenkelhalses. Prof. Dr. *Zeitschrift für orthopädische Chirurgie*. 1921: 366f.
84. **Calvé J.** Sur une forme particulière de pseudo-coxalgie greffe sur des déformations caractéristique de l'extrémité supérieure du fémur. *Rev. Chir. (Paris)*. 1910: 54–84.
85. **Perthes.** Über Arthritis deformans juvenilis. *Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie*. 1910; 107: 111–59.
86. **Dickens DR, Menelaus MB.** The assessment of prognosis in Perthes' disease. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*. 1978; 60-B: 189–94.
87. **Sharp IK, Hull.** Acetabular Dysplasia: The Acetabular Angle. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1961.
88. **Heimkes B.** Erkrankungen des kindlichen Hüftgelenks. *Monatsschrift Kinderheilkunde*. 2013; 161: 355–68.
89. **Matussek J.** *Kinderorthopädie und Kindertraumatologie*: Springer Berlin Heidelberg; 2013.

90. **Nelson D, Zenios M, Ward K, Ramachandran M, Little DG.** The deformity index as a predictor of final radiological outcome in Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br.* 2007; 89: 1369–74.
91. **Nakamura J, Kamegaya M, Saisu T, Kenmoku T, Takahashi K, Harada Y.** Hip arthrography under general anesthesia to refine the definition of hinge abduction in Legg-Calvé-Perthes disease. *Journal of pediatric orthopedics.* 2008; 28: 614–18.
92. **Kruse RW, Guille JT, Bowen, JR.** Shelf arthroplasty in patients who have Legg-Calve-Perthes disease. A study of long-term results. *The Journal of bone and joint surgery. American volume.* 1991; 73: 1338–47.
93. **Quain S, Catterall A.** Hinge abduction of the hip. Diagnosis and treatment. *The Journal of bone and joint surgery. British volume.* 1986; 68: 61–64.
94. **Heimkes B, Fottner A.** Hüftgelenks-Umstellungsosteotomien im Kindes- und Jugendalter: Operieren in der vierten Dimension. *Orthopädie & Rheuma Sonderheft;* 2006: 12–14.

## Anhang

### Modified Harris Hip Score

Bitte jeweils die am besten zutreffende Antwort ankreuzen:

1. Wie stark ist dein **Schmerz** jetzt/in der letzten Woche?
  - kein Schmerz
  - leichter Schmerz
  - geringe Schmerzen
  - mäßige Schmerzen
  - deutliche Schmerzen
  - schwere Schmerzen
  
2. Wie gut kannst du **Treppen steigen**?
  - leicht möglich
  - nur mit Geländer möglich
  - mit Schwierigkeiten/Hilfsmitteln möglich
  - Treppen steigen nicht möglich
  
3. Bist du in der Lage **öffentliche Verkehrsmittel** zu benutzen?
  - ja
  - nein
  
4. Hast du Probleme beim **Sitzen**?
  - Sitzen auf allen Stühlen für mindestens eine Stunde möglich
  - Sitzen auf hohem Stuhl für mindestens halbe Stunde möglich
  - Sitzen unmöglich
  
5. Bereitet dir das **Anziehen von Schuhen oder Strümpfen** Schwierigkeiten?
  - Anziehen leicht möglich
  - Anziehen schwierig
  - Anziehen unmöglich

6. **Hinkst** du beim Gehen?
- kein Hinken
  - leichtes Hinken
  - mäßiges Hinken
  - schweres Hinken
7. Benötigst du **Gehhilfen** ?
- keine Gehhilfen notwendig
  - Krücke auf einer Seite für längere Strecken
  - zwei Krücken für die meiste Zeit
  - immer zwei Krücken
8. Welche **Strecken** kannst du gehen?
- unbegrenzt
  - zwei Kilometer
  - 200 bis 500 Meter
  - nur in der Wohnung
  - nur vom Bett zum Stuhl

**Kidscreen-10-Fragebogen**

1.	Hast du dich fit und wohl gefühlt?	überhaupt nicht <input type="radio"/>	ein wenig <input type="radio"/>	mittelmäßig <input type="radio"/>	ziemlich <input type="radio"/>	sehr <input type="radio"/>
2.	Bist du voller Energie gewesen?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
3.	Hast du dich traurig gefühlt?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
4.	Hast du dich einsam gefühlt?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
5.	Hattest du genug Zeit für dich selbst?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
6.	Konntest du in deiner Freizeit das tun, was du machen wolltest?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
7.	Hast du dich durch deine Eltern gerecht behandelt gefühlt?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
8.	Hattest du Spaß mit deinen Freunden?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>
9.	Bist du in der Schule/in der Arbeit gut zurechtgekommen?	überhaupt nicht <input type="radio"/>	ein wenig <input type="radio"/>	mittelmäßig <input type="radio"/>	ziemlich <input type="radio"/>	sehr <input type="radio"/>
10.	Konntest du dich gut konzentrieren?	nie <input type="radio"/>	selten <input type="radio"/>	manchmal <input type="radio"/>	oft <input type="radio"/>	immer <input type="radio"/>

**Gesundheitszustand**

Wie würdest du deinen Gesundheitszustand bezeichnen, wenn du diesen im Allgemeinen einschätzen müsstest?

- ausgezeichnet
- sehr gut
- gut
- weniger gut
- schlecht

Tabelle A 1: Deskriptive Statistik der Perthes-Patienten

Patienten ID	Geschlecht	Seite	Alter bei OP	Zeit bis OP	Konservative Therapie	Operative Therapie	Staging	Catterall	Herring	Stulberg
1	1	0	16,17	7,19	1	0	4	-	-	4
2	0	0	6,20	1,81	1	1	3	2	2	4
4	0	0	12,95	6,30	1	1	4	-	-	2
5	0	0	8,31	1,41	1	0	2	3	2	4
6	1	1	8,78	0,58	1	0	1	2	3	3
9	0	0	10,00	2,26	1	1	3	4	3	2
12	0	0	12,03	4,14	1	1	4	-	-	3
17	0	1	12,11	1,74	0	1	4	-	-	3
18	0	1	14,42	-	1	0	2	3	3	4
19	0	0	14,82	1,16	1	0	2	4	3	5
28	0	1	8,45	0,54	1	0	1	2	3	4
30	0	1	6,19	1,64	1	0	2	3	2	1
34	0	1	8,73	0,92	1	0	2	3	3	3
38	0	0	8,72	1,41	1	1	2	3	3	3
39	0	0	10,57	1,36	1	0	2	3	3	5
43	0	1	10,57	3,40	1	1	3	2	2	3
47	1	0	7,55	1,16	1	0	1	3	3	4
49	0	0	16,25	8,93	1	1	4	-	-	3
51	1	1	14,11	2,39	1	0	3	2	2	3
58	0	1	12,17	2,00	1	0	2	3	2	3
63	0	1	9,33	0,84	1	0	2	3	3	-
64	0	1	9,00	1,15	1	0	2	4	3	-
65	0	0	8,84	5,64	1	0	4	-	-	4
66	0	1	8,74	2,23	1	0	2	3	2	3
72	1	0	15,05	0,14	1	0	4	-	-	3
73	0	1	9,42	0,67	1	0	2	4	3	2
74	0	1	9,27	1,72	1	1	2	4	3	3
78	0	1	10,02	1,25	1	1	2	3	3	4

Tabelle A 2: Übersicht CCD-Winkel der Perthes-Patienten

Patienten ID	CCD präoperativ O	CCD präoperativ X	CCD postoperativ O	CCD postoperativ X	CCD aktuell O	CCD aktuell X
1	127,8	135,5	126,4	158,5	126,2	139,3
2	129,2	144,3	124,8	146,3	125,4	146,3
4	141,9	122,9	145,8	153,4	141,9	155,7
5	132,6	136,5	133,6	150,2	134,3	143,7
6	139	137,9	140,8	165,5	135,4	162,6
9	140,3	125,1	130,2	146,6	132,6	137,3
12	122	122,1	119,7	146,1	123,3	139,6
17	114,6	125,8	115,1	144,1	112	143,7
18	124,3	128,9	131,8	143,8	133,4	152,2
19	132,5	143,6	130,4	133,3	130,9	131,6
28	134,2	132,8	144,4	159,3	139,6	159,3
30	130,2	135,8	137,3	168,7	134,7	160,3
34	135,9	130,3	130,6	168,1	130,4	164,5
38	134,5	107,8	135,7	149,7	130,7	141,9
39	119,8	131,5	121	162,9	105,8	158,5
43	130,8	132	130,4	166,5	130,9	158,6
47	140,1	149,6	145,6	170,3	142,2	168,1
49	131,6	109	129,5	137,8	131	137,6
51	137,6	128,7	136,9	137,8	136,7	135,9
58	136,5	126,2	134,1	140,6	134	142,5
63	144,6	139,2	145,7	151,3	140,3	152,3
64	134,2	132,7	134,4	144	124,9	141,7
65	125,6	112,7	123,9	147,8	121,5	148,6
66	125	132,7	128,8	169,8	125,4	166,9
72	133,2	124,5	130,2	138,3	126	137,6
73	140,1	136,5	138,9	156,3	140,2	153,4
74	126,3	119,2	130,3	162,3	133,1	140,7
78	137,5	122,4	138,9	150	135,4	150,9

Tabelle A 3: Übersicht PT-Winkel der Perthes-Patienten

Patienten ID	PT präoperativ O	PT präoperativ X	PT postoperativ O	PT postoperativ X	PT aktuell O	PT aktuell X
1	73,5	90,7	68,1	96,7	68,4	97,2
2	90,2	73,8	79,4	91,2	95,3	93,5
4	87,8	89,3	85,5	96,8	80,5	97,3
5	90,4	87,7	84,2	90,2	85	87,2
6	91,3	80	88,8	89,9	90,4	83,5
9	92,7	81,2	84,1	88	82,7	94,1
12	87,6	83,3	84,8	88,1	87,6	85,6
17	86,1	78,5	78,9	87,4	82,1	85,7
18	84,7	82,4	82,2	91,1	84,3	91,7
19	85,2	74,2	86,7	81,2	114,5	55,1
28	90,2	78,7	90,7	92,3	83,3	94,7
30	87,5	74,3	87,5	89,4	87,5	85,1
34	88,8	79,8	82,8	83,7	84,1	85
38	97,7	63,8	83,1	89,8	85,9	83,8
39	88,2	71,4	80,1	87,1	87,8	85,8
43	101,5	67,8	77,5	98,2	85,5	83,4
47	90,6	88,6	78,1	91,7	78,4	91,7
49	85,2	90,3	82,5	96,2	86,8	95,2
51	99,9	71,9	93	74,8	90,5	78,2
58	91,2	79,4	79,8	88,2	85,9	82
63	89,2	78,8	99,1	73,6	87,8	84,7
64	125,5	91,8	85,5	80,9	84,6	80,1
65	89,2	81,6	78	87,7	76,8	89,7
66	86	82,7	73,7	102,7	79,8	91,7
72	80,8	89	80,3	88,1	79,8	90,5
73	82,2	85,9	77,7	89,9	79,1	87,7
74	90,3	74,5	79,5	96,3	90,1	83,7
78	86,1	61,4	83,1	83,9	80,7	84,1

Tabelle A 4: AHQ- und EEI-Werte der Perthes-Patienten

Patienten ID	AHQ präoperativ	AHQ postoperativ	AHQ aktuell	EEI präoperativ	EEI postoperativ	EEI aktuell
1	80	78,8	76,2	38,4	42,7	54,3
2	74,2	76,3	79	42	40,3	2,2
4	107,4	92,8	98,7	14,4	26,9	25,7
5	67,4	67,4	84,1	41,9	61,9	41,1
6	90,4	93	89,5	15	7	16,8
9	97,8	63,3	92,4	9,3	45	12,2
12	74,2	46,3	56,5	34,7	86,7	69,4
17	100	88,2	101,1	9,3	22,9	4,2
18	-	-	-	-	-	-
19	69,4	88,5	67	45,7	14,5	34,7
28	84,5	100	101,1	22	23,5	15,1
30	80,2	80,2	98,9	36,8	33,1	14,2
34	77,9	87,1	84,3	31,7	25,7	21,5
38	86	80,7	95,9	32,6	44,4	7,4
39	-	-	-	-	-	-
43	104,3	102,4	98,9	4,7	22,4	6,7
47	77,4	94,3	88,2	33,7	22,5	23,6
49	79,8	114,6	96,6	20	5,8	10,9
51	77,2	79,8	69,9	41,4	44,1	49,5
58	81,7	67,1	87,4	29,6	52,4	30,3
63	83,3	97,4	91,2	28,7	28,5	21,6
64	62,2	79,7	80	45,6	47,6	49,1
65	75,3	74,1	69,8	39,2	51,6	56,3
66	68,4	80,2	64,9	45,2	47,5	54,8
72	66,7	69,8	64,6	48,8	45,2	53,7
73	85,5	85,9	80,6	38,5	54,3	62,2
74	79,8	55,8	83,3	31	76,5	39,5
78	82	87,7	81,8	36,9	38,2	57,7

Tabelle A 5: Übersicht AAS-Werte der Perthes-Patienten

Patienten ID	AAS präoperativ O	AAS präoperativ X	AAS postoperativ O	AAS postoperativ X	AAS aktuell O	AAS aktuell X
1	32,7	42,4	34,6	41,7	34,8	40,7
2	45,5	38,4	46,3	22,3	30,5	32,9
4	44,4	48,6	44,3	44,8	41	41,7
5	48,3	48,7	49,4	39,1	45,9	42,3
6	44,3	41,8	41,3	34,5	31	37
9	39,4	48,4	45,5	42,6	40,9	48
12	41,6	42,3	41,8	46,5	39,3	46,1
17	44,1	40,2	38,9	36,4	35,5	39,9
18	43,5	43	43,2	45,3	42,9	41,5
19	37,6	39,9	38,3	39,9	31,6	25
28	39,4	43,2	43,7	25,1	36,1	36,1
30	43	39,4	47	23,3	45,1	26,6
34	43	43,6	43,9	36,3	37,3	39,6
38	45,7	39,1	45	39,4	42,7	38,9
39	51,7	51,4	51,7	44,5	51,9	49,4
43	44,7	32,1	43,8	37,7	32,2	37
47	39,3	43,3	44,3	25,8	47,9	32,8
49	36,9	34,2	42,6	37,1	37,1	39,8
51	36,9	43,6	36,5	45,7	36,6	44,5
58	39,8	41	42,8	45,4	37,5	39,7
63	43,8	45,5	48,1	30,5	43,5	34,2
64	46,9	48,8	50,3	44,7	49,8	40,8
65	42,9	45,5	43,8	47,7	44	49,1
66	40,7	42,1	41,2	42	39,6	44,9
72	36,1	42,5	38,3	41,5	39,4	42,8
73	48,9	49,4	48,3	47,3	44,5	52,1
74	44,8	38,1	47,8	45,3	40,6	43,8
78	52,3	46,3	53,5	48,7	50,6	52,1

Tabelle A 6: Übersicht TTD-Winkel der Perthes-Patienten

Patienten ID	TTD präoperativ O	TTD präoperativ X	TTD postoperativ O	TTD postoperativ X	TTD aktuell O	TTD aktuell X
1	0,84	1,57	0,88	1,57	0,8	0,88
2	0,44	1,48	0,65	1,66	0,77	1,57
4	0,66	0,7	0,65	0,58	0,8	1,02
5	0,7	1,18	0,9	1,34	0,72	1,58
6	0,54	1,03	0,46	0,19	0,67	1,29
9	0,73	1,35	0,72	1,45	0,55	1,43
12	0,62	1,29	0,7	1,28	0,73	1,46
17	0,71	0,38	0,55	0,4	0,49	0,32
18	0,99	1,02	1,1	0,91	0,74	2,3
19	0,88	0,97	0,73	0,81	0,74	2,3
28	0,52	1,16	0,74	0,95	0,6	0,48
30	0,25	0,27	0,7	1,15	0,74	0,91
34	0,75	1,38	0,61	1	0,76	1,19
38	0,67	0,98	0,58	1,07	0,83	0,9
39	1,13	1,63	0,84	1,44	1,33	1,9
43	0,43	1,18	0,6	1,12	0,55	1,1
47	0,76	0,96	0,75	0,95	0,82	1,07
49	0,88	0,81	0,58	0,51	0,81	0,59
51	0,48	0,52	0,8	0,37	0,55	0,73
58	0,63	1,12	0,41	1,22	0,88	1,43
63	0,74	1,62	0,71	1,11	0,7	0,88
64	0,67	1,55	0,8	1,53	0,81	1,1
65	0,71	0,78	0,67	0,92	0,74	1,03
66	0,71	1,13	0,72	1,03	0,64	0,98
72	0,51	1,32	0,48	1,21	0,51	1,35
73	0,84	1,61	1,1	1,6	1,54	0,99
74	0,37	1,9	0,39	1,69	0,84	0,97
78	0,22	1,21	0,33	1,35	0,4	1,12

Tabelle A 7: Übersicht ATD-Winkel der Perthes-Patienten

Patienten ID	ATD präoperativ O	ATD präoperativ X	ATD postoperativ O	ATD postoperativ X	ATD aktuell O	ATD aktuell X
1	8,9	8,9	7,4	17	9,1	19,6
2	13,3	21	13	22,5	12,1	18,7
4	24,3	1	22,7	27,4	27,3	16,9
5	16,3	17,4	19,5	23,7	21,1	21,8
6	18,9	13,5	19,9	34	24,9	28
9	26,4	18,3	27,5	28,6	24,2	21,6
12	9,2	5,2	7,3	10,3	5,5	-3
17	0	4,6	-3,4	24,6	-5,1	24,7
18	7,4	9,2	2,2	22	-3,7	14,3
19	24,3	19,9	32,3	25,7	30,6	17,9
28	22	17,5	23,6	37,7	22,4	35,9
30	18,3	18,4	17,5	33,5	19,3	31,5
34	18,8	16,6	17,6	35,1	21,2	37,3
38	19,8	7,3	22,9	24,2	23,1	34,9
39	7,9	16,7	6,7	35,5	1,8	41,8
43	14,7	21,1	14,1	40,3	12,9	37,8
47	16,2	12,5	20,9	26,3	21,3	21,2
49	21,7	18	20	8,3	21,7	11,4
51	7,1	33,9	28,9	32,7	30,4	33,7
58	19,2	18,2	21,9	29,2	23,6	29,8
63	27,4	23,4	26,9	28,3	28,7	30
64	18	19,4	16,3	25	14	27,4
65	17,1	11,3	0	27,2	13,4	30,4
66	14,6	15,5	15,8	28,1	14,6	29,8
72	24,2	12,5	20,2	1,5	22,1	3
73	21,8	18,7	20	30,7	18,6	22,8
74	19,3	10,3	20	35,8	17,7	28,2
78	35,3	20,9	33,5	40,1	29,3	42,5

Tabelle A 8: Übersicht Nelson Deformity Index der Perthes-Patienten

<b>Patienten ID</b>	<b>Deformity Index präoperativ</b>	<b>Deformity Index postoperativ</b>	<b>Deformity Index aktuell</b>
1	0,59	0,55	0,54
2	0,54	0,55	0,53
4	0,33	0,13	0,18
5	0,44	0,49	0,49
6	0,24	0,23	0,41
9	0,28	0,43	0,27
12	0,67	0,64	0,35
17	0,31	0,28	0,14
18	-	-	-
19	0,51	0,12	0,12
28	0,37	0,27	0,44
30	0,3	0,49	0,52
34	0,43	0,42	0,27
38	0,14	0,47	0,27
39	-	-	-
43	0,58	0,41	0,14
47	0,24	0,36	0,28
49	0,06	0,24	0,2
51	2,73	0,41	0,62
58	0,45	0,5	0,42
63	0,37	0,32	0,42
64	0,46	0,45	0,6
65	0,53	0,5	0,51
66	0,63	0,53	0,55
72	0,49	0,34	0,34
73	0,34	-	-
74	0,52	0,52	0,17
78	0,36	0,5	0,5

## Danksagung

Zunächst ist mein Werdegang geprägt durch meine Leidenschaft an der Arbeit mit den „besonderen“ Kindern. Seit meiner Jugend habe ich bei dem Verein für körper- und mehrfachbehinderte Menschen e.V. integrative Ferienkurse betreut. Dabei entdeckte ich mein Interesse an der Krankheitslehre und im Speziellen meinen Wunsch, diese Kinder zu unterstützen.

Einer glücklichen Fügung habe ich es zu verdanken, eine Einladung zum Studentenforum des 130. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie gewonnen zu haben und dort meinen Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Heimkes kennengelernt zu haben.

Deshalb gilt mein besonderer Dank ihm, der mir diese spannende Arbeit ermöglicht hat und mich langjährig und engagiert betreute. Dabei stand er mir nicht nur in jeder Stufe des Entstehungsprozesses dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite, sondern beriet und unterstützte mich außerdem auf meinem beruflichen Werdegang.

In allen Phasen meines Lebens wie auch dieser Arbeit, wusste ich meine Familie unterstützend hinter mir - herzlichen Dank! Nur durch Eure ständige Motivation habe ich es geschafft durchzuhalten und meinen eigenen Weg zu gehen. So danke ich auch Jesko, dass er mir, seitdem er in mein Leben getreten ist, immer zur Seite steht.

Mein Dank gilt auch einer ganzen Reihe von StudienkollegInnen und FreundInnen, vor allem Nina Schebesta, German Rubinstein und Stephanie Eitel, die mit treffsicheren Kommentaren die Arbeit weiterentwickelten.





## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

### **Indikation und Ergebnisse der koxalen Femurvalgisation unter besonderer Berücksichtigung des Morbus Legg-Calvé-Perthes**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Barbara Weiß

Regensburg, 4. November 2018