

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Kontaktzeit in % des Abrollvorganges (Abb. 6)

Die Kinder der Klumpfußgruppe zeigen im Bereich des Rückfußes mit 60% des „roll-over-process“ (ROP) bzw. Abrollvorganges keinen statistisch signifikant kürzeren Bodenkontakt als die Kinder der Kontrollgruppe (64,71% des ROP).

Signifikant und erheblich längere Bodenkontaktzeiten sehen wir dagegen im Bereich des Mittelfußes. Mit 76,92% wird der Mittelfuß in der Klumpfußgruppe länger als  $\frac{3}{4}$  der Dauer des gesamten Abrollvorganges aufgesetzt. Die Kinder der Kontrollgruppe setzen den Mittelfuß nur 55,56% der Dauer des Abrollvorganges auf ( $p < 0,001$ ).

Ebenfalls signifikant ( $p < 0,001$ ) länger bei den Kindern mit Klumpfüßen ist die Bodenkontaktzeit im Bereich des fünften Metatarsalknochens. Mit im Median 86,96% ist der Unterschied zur Kontrolle mit im Median 82,35% jedoch nicht so ausgeprägt.

Einen ausgeprägt kürzeren Bodenkontakt mit statistischer Signifikanz ( $p < 0,001$ ) findet sich bei den Kindern der Klumpfußgruppe im Vergleich zur Kontrolle unter dem ersten Metatarsalknochen (Klumpfuß:78,57%; Kontrolle:89,45%) sowie unter dem dritten Metatarsalknochen (Klumpfuß:90,48%; Kontrolle:94,44%;  $p = 0,005$ ).

Der längere Bodenkontakt, den die Klumpfußgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe im Großzehenbereich aufweist (Klumpfuß:88,89%; Kontrolle:85%) besitzt keine statistische Signifikanz.

Betrachtet man die beiden Gruppen getrennt und vergleicht die Fußregionen innerhalb derselben Gruppe miteinander, kann man große Unterschiede im Verhältnis erkennen. So fällt im Mittelfußbereich der Klumpfußgruppe eine deutlich längere Bodenkontaktzeit im Vergleich zum Rückfuß auf, in der Kontrollgruppe dagegen eine deutlich kürzere Bodenkontaktzeit im Vergleich zum Rückfuß.

Die Unterschiede innerhalb einer Gruppe wurden nicht auf statistische Signifikanz überprüft.

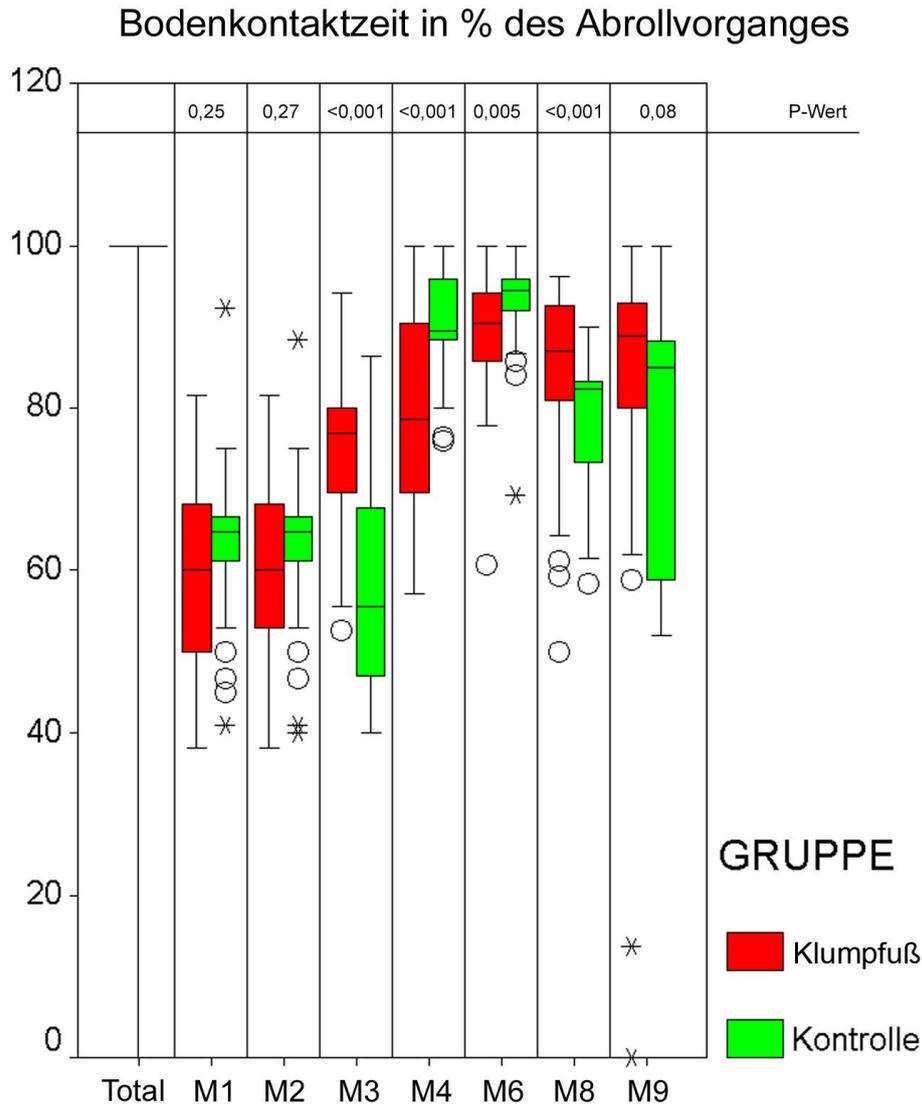


Abb.6) Bodenkontaktzeit in % des Abrollvorganges.

<b>Klumpfuß</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	100	60	60	76,92	78,57	90,48	86,96	88,89
25% Perzentile	100	50	52,76	69,57	69,57	84,96	79,76	79,56
75% Perzentile	100	71,59	69,81	80	91,54	94,56	93,36	93,49

Tab.3) Bodenkontaktzeit in % des Abrollvorganges – Klumpfüße

<b>Kontrolle</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	100	64,71	64,71	55,56	89,45	94,44	82,35	85
25% Perzentile	100	61,11	60,83	47,06	88,22	91,5	72,65	58,01
75% Perzentile	100	66,67	66,67	68,31	96,87	96,07	83,33	88,91

Tab.4) Bodenkontaktzeit in % des Abrollvorganges - Kontrolle

### 3.2. Spitzendruck in $\text{N}/\text{cm}^2$ (Abb.7)

Betrachtet man die Spitzendrücke des Fußes als Ganzes ohne ihn in verschiedene Teilregionen zu unterteilen, zeigt sich kein Unterschied zwischen der Klumpfußgruppe mit im Median  $18,5 \text{ N}/\text{cm}^2$  und den Kindern der Kontrollgruppe mit im Median  $19,25 \text{ N}/\text{cm}^2$ .

Teilt man den Fuß dagegen in die verschiedenen Regionen auf, lassen sich in einigen Fußbereichen deutliche Unterschiede erkennen.

Etwa 30% geringere Spitzendrücke weisen die Kinder der Klumpfußgruppe im Bereich des Rückfußes auf. Im Median betragen die Spitzendrücke medial  $13 \text{ N}/\text{cm}^2$  und lateral  $11,5 \text{ N}/\text{cm}^2$  wohingegen die Spitzendrücke in der Kontrollgruppe im Bereich des Rückfußes medial und lateral jeweils  $18 \text{ N}/\text{cm}^2$  betragen. Mit einem  $p < 0,001$  ist dieser Unterschied deutlich signifikant.

Ebenfalls signifikant jedoch nicht so ausgeprägt sind die niedrigeren Spitzendrücke in den Bereichen des ersten Metatarsalknochens (Klumpfuß:  $8 \text{ N}/\text{cm}^2$ ; Kontrolle:  $9,5 \text{ N}/\text{cm}^2$ ;  $p = 0,03$ ) und des großen Zeh (Klumpfuß:  $14 \text{ N}/\text{cm}^2$ ; Kontrolle:  $15 \text{ N}/\text{cm}^2$ ;  $p = 0,05$ ). Höhere Spitzendrücke findet man bei den Klumpfüßen im Bereich unter dem Mittelfuß. Mit  $7 \text{ N}/\text{cm}^2$  sind die Spitzendrücke annähernd doppelt so hoch wie die Spitzendrücke bei den Kindern der Kontrollgruppe mit  $4,5 \text{ N}/\text{cm}^2$  ( $p < 0,001$ ).

Die Spitzendrücke unter den Metatarsalknochen 3 (Klumpfuß:  $12 \text{ N}/\text{cm}^2$ ; Kontrolle:  $13 \text{ N}/\text{cm}^2$ ) und 5 (Klumpfuß:  $6,5 \text{ N}/\text{cm}^2$ ; Kontrolle:  $7 \text{ N}/\text{cm}^2$ ) weisen keine nennenswerten Unterschiede untereinander auf.

Die Unterschiede, die man innerhalb derselben Gruppe erkennen kann, wurden nicht auf die statistische Signifikanz überprüft. Die Druckverteilung über den gesamten Fuß ist jedoch tendenziell sehr ähnlich. So ist der Mittelfuß in beiden Gruppen die Region, die die geringsten Spitzendrücke aufweist und der Rückfuß die Region mit eher hohen Spitzendrücken.

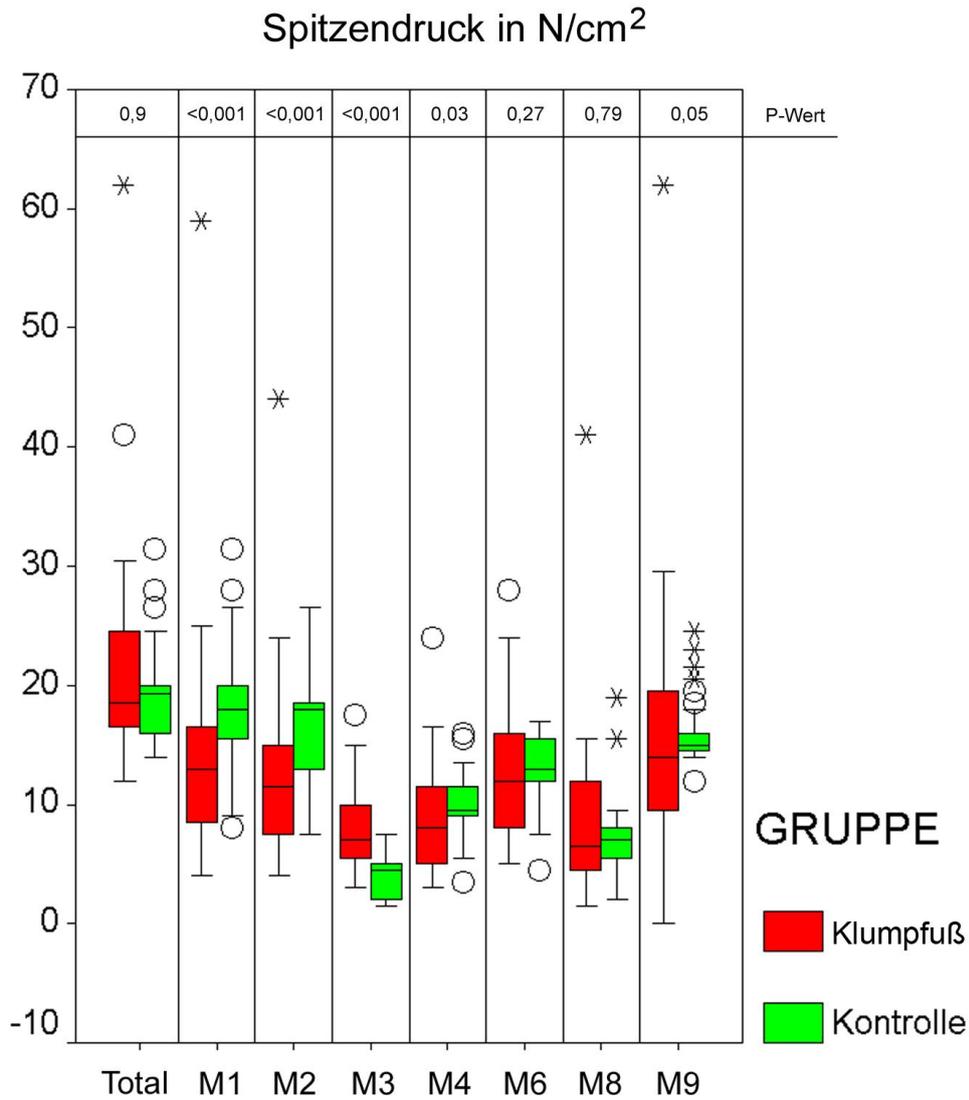


Abb.7) Spitzendruck in N/cm<sup>2</sup>

<b>Klumpfuß</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	18,5	13	11,5	7	8	12	6,5	14
25% Perzentile	16,5	8,25	7,5	5,5	4,75	8	4,5	9,5
75% Perzentile	24,75	16,5	15,5	10	11,75	16,25	12,25	19,75

Tab.5) Spitzendruck in N/cm<sup>2</sup> – Klumpfüße

<b>Kontrolle</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	19,25	18	18	4,5	9,5	13	7	15
25% Perzentile	16	15,38	13	2	9	12	5,38	14,5
75% Perzentile	20,13	20	18,5	5	11,5	15,5	8	16,13

Tab.6) Spitzendruck in N/cm<sup>2</sup> - Kontrolle

In Abbildung 8 sind die Spitzendruckverteilungen von je einem Beispiel aus der Kontroll- und Klumpfußgruppe als farbkodierte 3d-Ansicht abgebildet. Man erkennt (typisch für einen Klumpfuß) deutlich die geringere Druckbelastung der Ferse und die stärkere Druckbelastung der lateralen Fußsäule sowie des Mittelfußes, welcher zusätzlich eine größere Kontaktfläche aufweist.

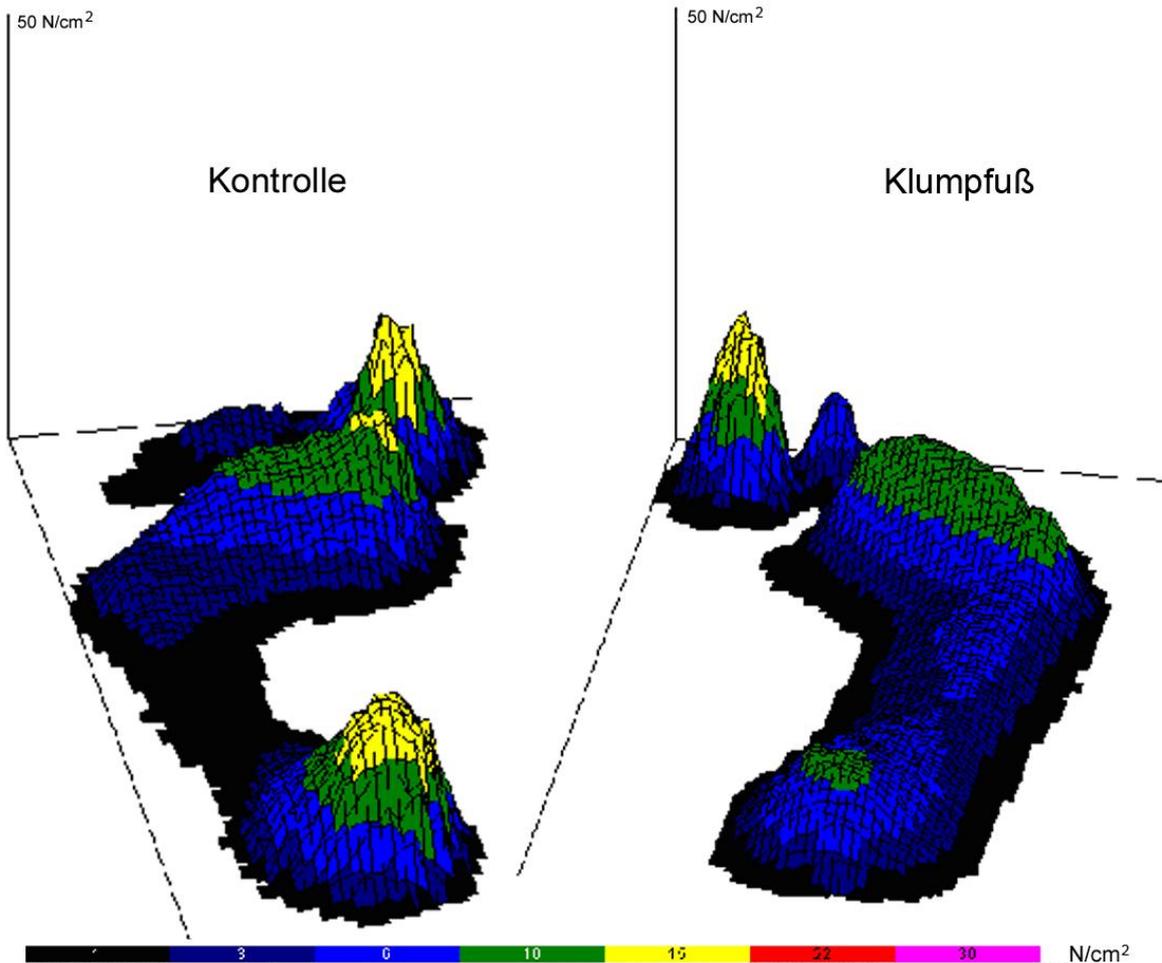


Abb.8) 3d-Ansicht der Spitzendruckverteilung unter dem Fuß; Individuelle Beispiele; links eine repräsentative Messung aus der Kontrollgruppe, rechts eine repräsentative Messung eines Klumpfußes

### 3.3. Zeitlicher Verlauf des Spitzendrucks für den gesamten Fuß (Abb.9) (in $\text{N/cm}^2$ über die Dauer des Abrollvorganges)

Der zeitliche Verlauf der Spitzendrücke zeigt sowohl bei den Klumpfüßen als auch in der Kontrollgruppe je zwei Druckgipfel mit Höchstwerten nach etwa 20% und 80% des Abrollvorganges. Zwischen den beiden Druckgipfeln liegt ein deutlich abgrenzbares Tal mit Tiefstwerten nach etwa 50% des Abrollvorganges.

Der erste Gipfel entspricht den Spitzendrücken unter dem Rückfuß, das Tal denjenigen unter dem Mittelfuß und der zweite Gipfel den Drücken unter dem Vorfußbereich, d.h. unter den Ossa Metatarsalia und Zehen.

Trotz der deutlichen Abgrenzung der beiden Gipfel und des Tales verläuft die Druckkurve in der Klumpfußgruppe insgesamt etwas flacher.

Dieses liegt zum einen an einem ersten Gipfel mit deutlich erniedrigten Höchstwerten im Vergleich zum zweiten Kurvengipfel und zum anderen an einem Tal mit höheren Mindestwerten im Vergleich zur Kontrolle.

Die Druckkurve der gemittelten Werte aus der Kontrollgruppe dagegen zeigt ein Tal zwischen zwei deutlichen abgrenzbaren Gipfeln, von denen ersterer leicht höhere Spitzendrücke erreicht als der zweite.

Außerdem auffallend ist die Deformität der Kurve, die die untere Standardabweichung in der Klumpfußgruppe darstellt, bei der vor allem der erste Kurvengipfel deformiert bzw. zu einem Tal umgewandelt ist.

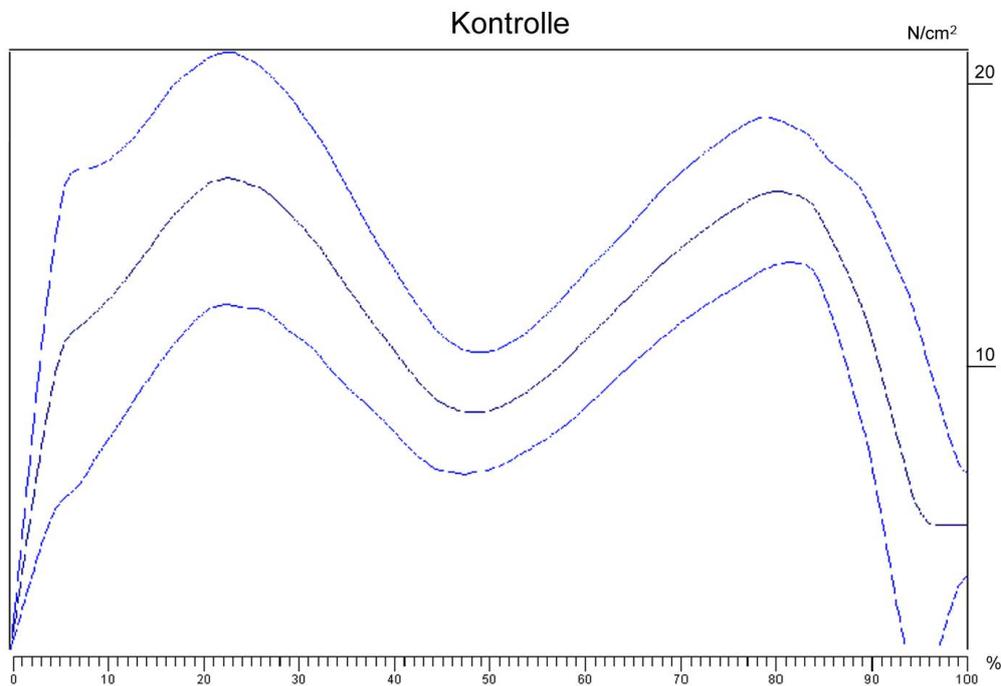
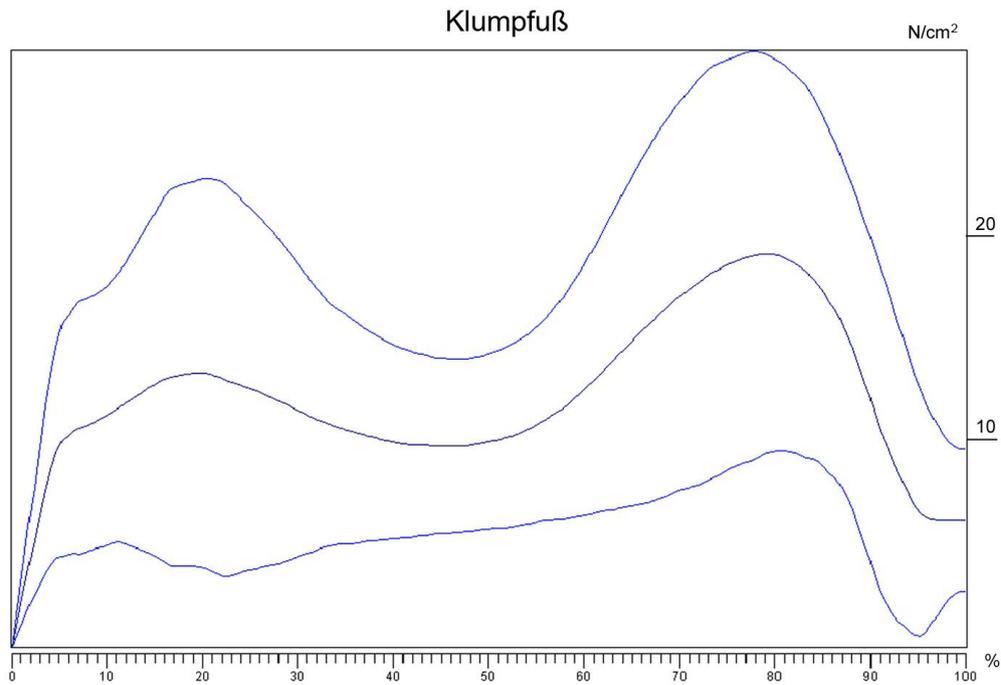


Abb.9) zeitlicher Verlauf der Spitzendrücke; oben: Klumpfüße, unten: Kontrolle. Mittelwerte mit Standardabweichungen. Man beachte den unterschiedlichen Maßstab (die Software erlaubte keine Maßstabsabgleichung).

### 3.4. Druck-Zeit-Integral in (N/cm<sup>2</sup>)s

Das Druck-Zeit-Integral ist ein Maß für die Belastung des Fußes.

Bezogen auf den gesamten Fuß lässt sich bei den Kindern der Klumpfußgruppe mit 9,62 (N/cm<sup>2</sup>)s im Vergleich zu den Kindern der Kontrollgruppe mit 8,64 (N/cm<sup>2</sup>)s kein statistisch signifikanter Unterschied erkennen.

Eine deutlich geringere Belastung findet sich bei den Kindern der Klumpfußgruppe in den Regionen des Rückfußes (M1: Klumpfuß 2,81(N/cm<sup>2</sup>)s, Kontrolle 4,81(N/cm<sup>2</sup>)s, nicht signifikant; M2: Klumpfuß 2,68(N/cm<sup>2</sup>)s, Kontrolle 4,29(N/cm<sup>2</sup>)s, p=0,03).

Auch in der Region unter dem ersten Metatarsalknochen, also im Bereich des medialen Vorfußes zeigt sich bei den Klumpfüßen mit 2,57 (N/cm<sup>2</sup>)s eine signifikant geringere Belastung im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 3,83 (N/cm<sup>2</sup>)s (p=0,01).

Die Belastung des Vorfußes gleicht sich im Bereich des dritten Metatarsalknochens langsam in beiden Gruppen einander an und zeigt an der lateralen Vorfußsäule dann ein nahezu gespiegeltes Bild. Unter dem dritten Metatarsalknochen zeigt sich nur noch eine leicht (nicht signifikant) geringere Belastung in der Klumpfußgruppe mit 3,95 (N/cm<sup>2</sup>)s im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 4,58 (N/cm<sup>2</sup>)s, und in der Region des fünften Metatarsalknochens, also des lateralen Vorfußes, findet man dann eine (signifikant) höhere Belastung in der Klumpfußgruppe (2,76 (N/cm<sup>2</sup>)s; Kontrollgruppe: 2,15(N/cm<sup>2</sup>)s).

Mehr als doppelt so hohe Belastungen zeigen die Klumpfüße im Bereich des Mittelfußes mit 2,68 (N/cm<sup>2</sup>)s im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 1,09 (N/cm<sup>2</sup>)s (p<0,001).

Die leicht erhöhte Belastung unter dem großen Zeh, die man bei den Klumpfüßen (4,29 (N/cm<sup>2</sup>)s; Kontrollgruppe: 3,54 (N/cm<sup>2</sup>)s) erkennen kann zeigt keine statistische Signifikanz. Somit wird der große Zeh in beiden Gruppen gleich stark belastet.

In Abbildung 10 erkennt man des Weiteren, dass die Kinder mit Klumpfüßen nur sehr geringe Schwankungen der Fußbelastungen aufweisen. So wird der Mittelfuß genauso stark belastet wie der Rückfuß. Im Gegensatz dazu beträgt die Belastung des Rückfußes in der Kontrollgruppe mehr als 400% der Belastung des Mittelfußes.

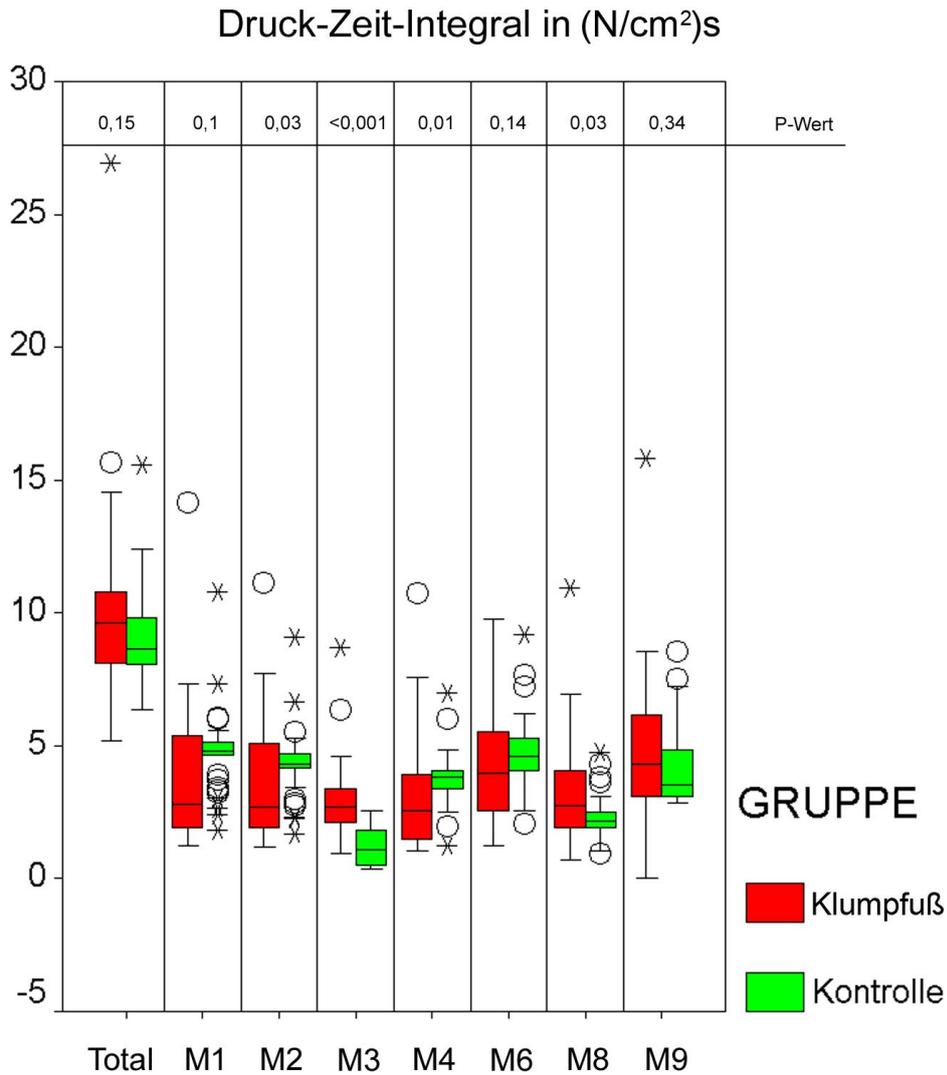


Abb.10) Belastung des Fußes. Angegeben als Druck-Zeit-Integral.

<b>Klumpfuß</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	9,62	2,81	2,68	2,68	2,57	3,95	2,76	4,29
25% Perzentile	8,11	1,91	1,91	2,11	1,36	2,57	1,89	3,08
75% Perzentile	10,82	5,67	5,11	3,64	4,04	6,12	4,09	6,21

Tab.7) Druck-Zeit-Integral in (N/cm<sup>2</sup>)s – Klumpfüße

<b>Kontrolle</b>	Total	M1	M2	M3	M4	M6	M8	M9
Median	8,64	4,81	4,29	1,09	3,83	4,58	2,15	3,54
25% Perzentile	8,04	4,67	4,16	0,5	3,38	4,05	1,91	3,04
75% Perzentile	9,82	5,15	4,74	1,89	4,05	5,27	2,53	4,86

Tab.8) Druck-Zeit-Integral in (N/cm<sup>2</sup>)s – Kontrolle

### 3.5. Medialer Plantarwinkel

Mit einem medialen Plantarwinkel von im Median  $3,32^\circ$  ist der durch die Fußdruckplattform erhobene Winkel bei den Klumpfüßen signifikant ( $p=0,003$ ) niedriger als der Winkel der Kontrollgruppe ( $6,95^\circ$ ).

Als weitere Kontrolle wurden separat die gesunden Füße von einseitig betroffenen Klumpfußkindern untersucht. In dieser Gruppe erhält man einen medialen Plantarwinkel von  $6,26^\circ$ . Dieser ist von der Größenordnung vergleichbar mit dem der Kontrollgruppe, aber signifikant höher als der mediale Plantarwinkel der Klumpfußgruppe ( $p<0,001$ ) (Abb.11).

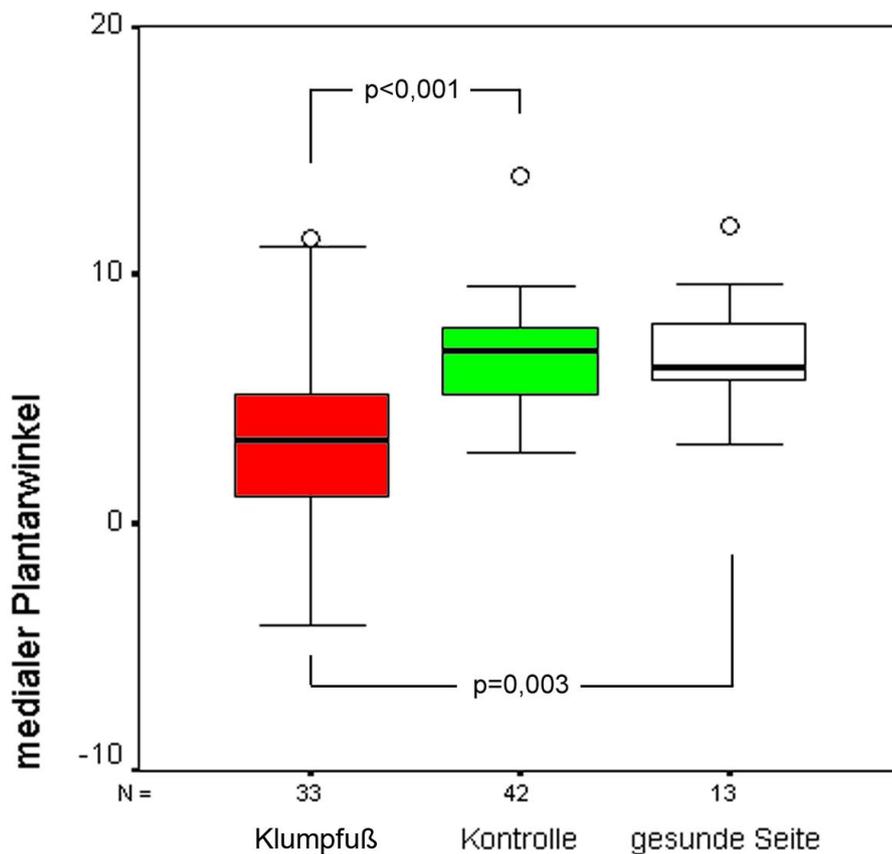


Abb.11) Medialer Plantarwinkel in  $^\circ$

	Klumpfuß	Kontrolle	Gesunde Seite
Median	3,32	6,95	6,26
25% Perzentile	0,78	5,16	5,16
75% Perzentile	5,41	7,88	8,74

Tab.9) Medialer Plantarwinkel in  $^\circ$

Definiert man den durchschnittlichen medialen Plantarwinkel der Kontrollgruppe von  $6,57^\circ \pm$  der doppelten Standardabweichung ( $4,12^\circ$ ) als „normalen Adduktusbereich“ ( $2,45^\circ$  bis  $10,69^\circ$ ) und alle Füße, die einen medialen Plantarwinkel unterhalb dieses Wertes als „Adduktusfüße“, erfüllen 14 Füße der operierten Klumpfüße und somit 42% die Kriterien für einen Pes adductus.

Nach dieser Definition erfüllt kein Fuß aus der Kontrollgruppe und kein gesunder Fuß der einseitig erkrankten Kinder die Kriterien für einen pes adductus.

Füße, die einen medialen Plantarwinkel oberhalb des Kontrollmittelwertes plus der doppelten Standardabweichung hatten, konnten in allen drei Gruppen beobachtet werden. In der Klumpfußgruppe waren es zwei und in der Kontrollgruppe sowie bei den gesunden Füßen einseitig erkrankter Kinder waren es je einer (Tab.10, Abb.12).

Eine Korrelation zwischen Druckverhältnissen und der Ausprägung des medialen Plantarwinkels konnte in dieser Untersuchung nicht gefunden werden.

	unterhalb	oberhalb
Klumpfuß	42%	6%
Kontrolle	0%	8%
gesunde Seite bei einseitigem Klumpfuß	0%	2%

Tab.10) Anteil der Füße außerhalb des definierten Normalbereiches

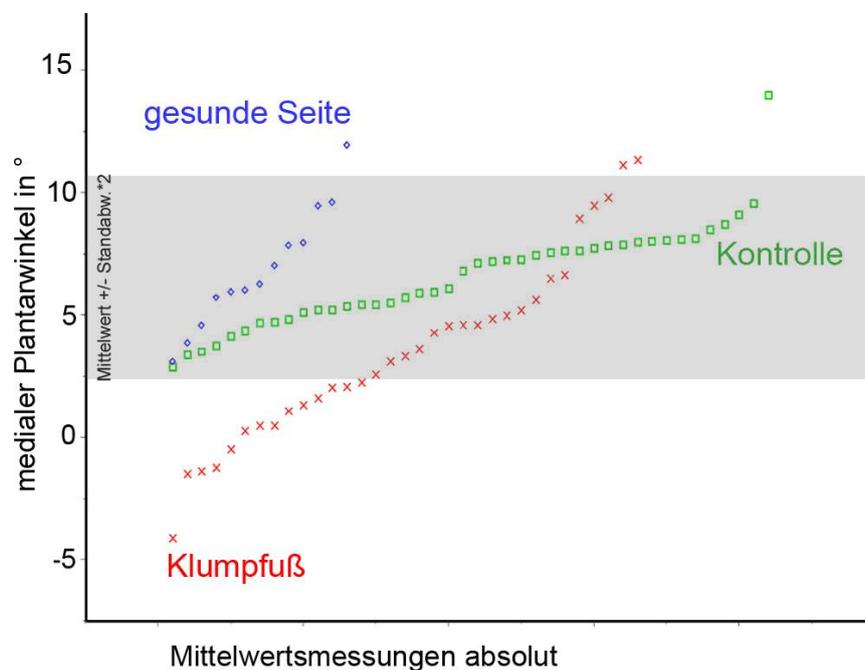


Abb.12) Mittelwerte des medialen Plantarwinkels einzeln dargestellt

In Abbildung 13 ist ein Beispiel eines operierten Klumpfußes zu sehen. Sowohl das Foto als auch der ermittelte mediale Plantarwinkel (hier:  $-3,1^\circ$ ) zeigen die starke Vorfußadduktion dieses 6-jährigen Jungen mit einem McKay-Wert von 130 Punkten (Kategorie: befriedigend).

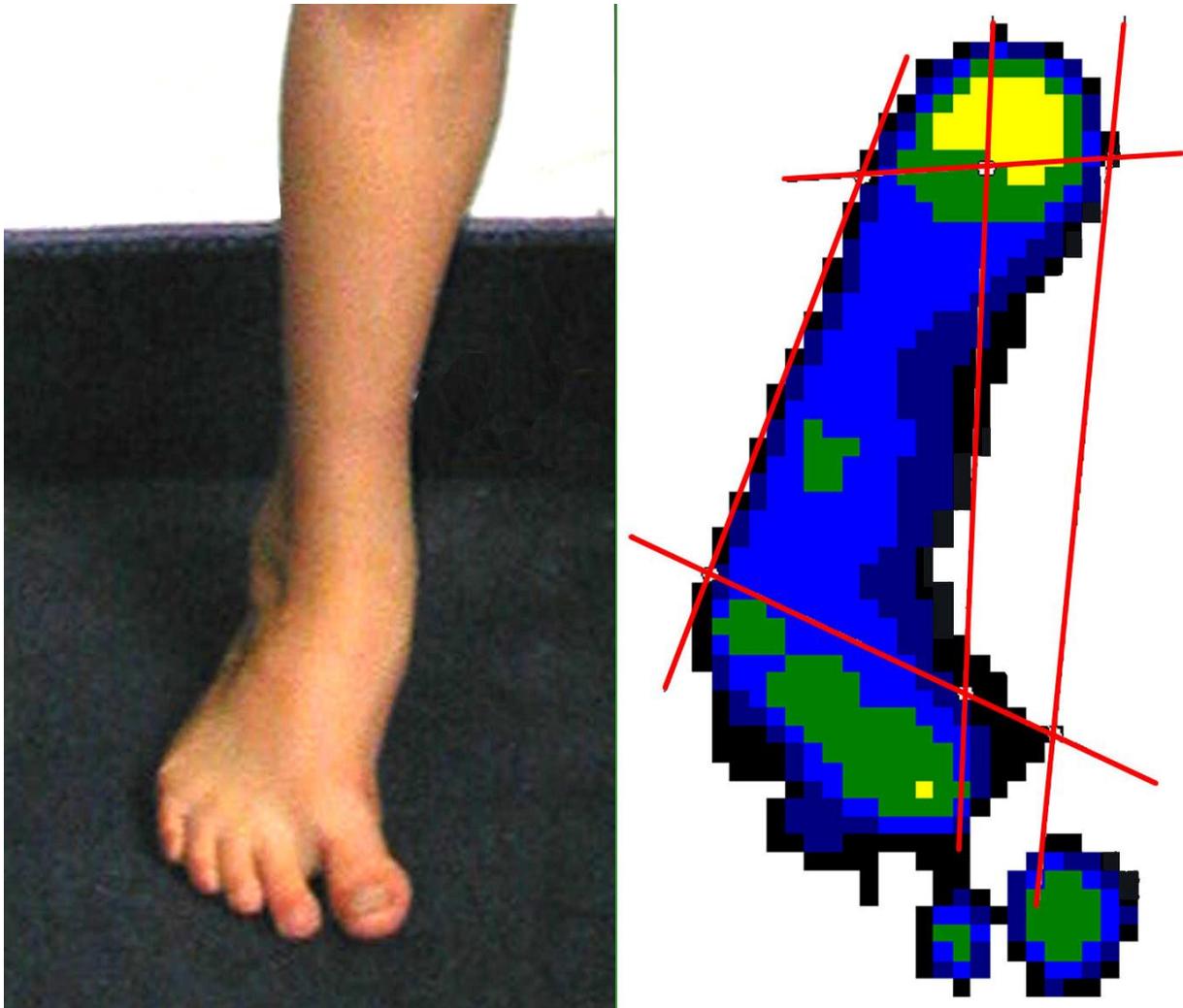


Abb.13) Verbliebener Vorfußadduktus bei einem 6-jährigen Jungen nach dorsomedialem Release. Der med. Plantarwinkel bei dieser Messung beträgt  $-3,1^\circ$

Abbildung 14 zeigt die Füße und das Winkelbild eines 5-jährigen Mädchens nach dorsomedialem Release beidseits mit einem medialen Plantarwinkel ( $9,4^\circ$ ) weit oberhalb des Durchschnitts der Kontrollgruppe. Die Valgusstellung des Fußes ist auf dem Foto deutlich zu erkennen. Des Weiteren erkennt man sowohl auf dem Foto als auch auf dem Winkel- bzw. Druckbild die Lateralisierung der Zehen und der Fußachse.

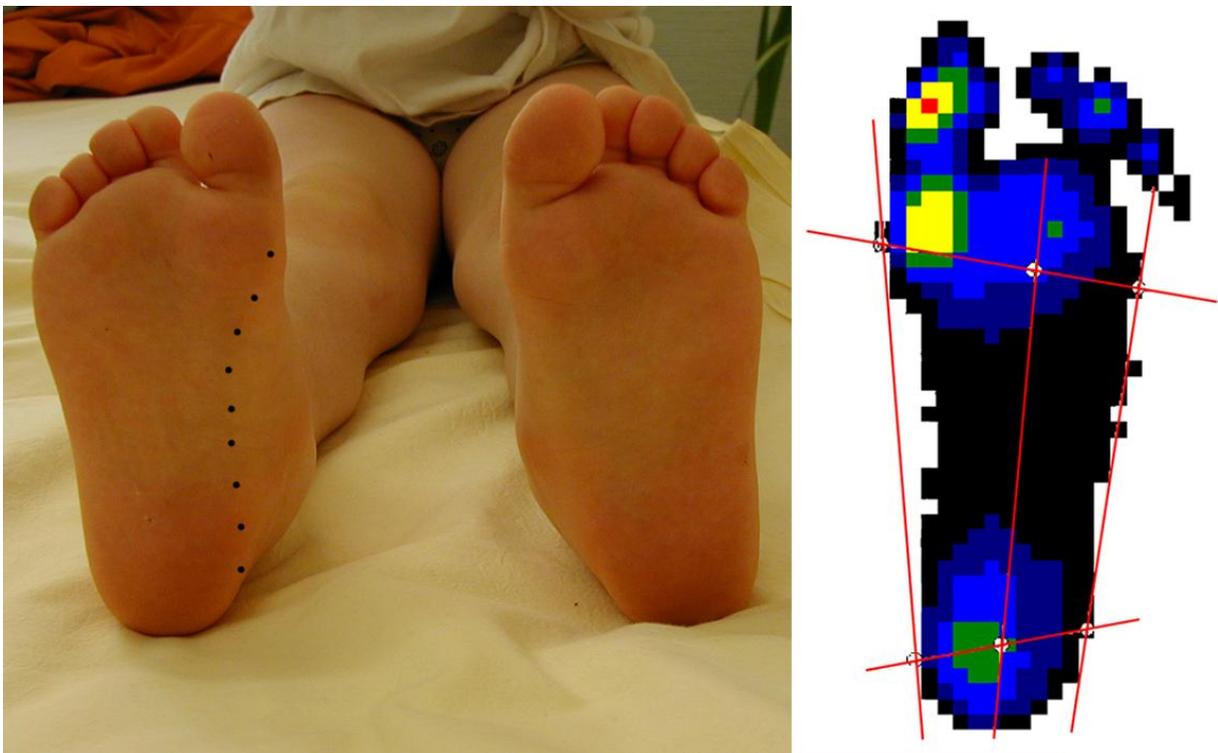


Abb.14) Ausgeprägter Knick-Senkfuß bei einem 5-jährigen Mädchen nach dorsomedialer Release beidseits. Zur besseren Übersicht ist die rechte Fußsohle nachgezeichnet. Rechts: Medialer Plantarwinkel:  $9,4^\circ$

Für die Mittelwertberechnungen wurden die einzelnen Fußdruckbilder durch die Software bei Messungen des linken Fußes zunächst gespiegelt, so dass alle Werte aus „echten“ oder „gespiegelten“ rechten Fußdruckmessungen ermittelt wurden.

Die statistische Gegenkontrolle, die nur bei „echten“ rechten Fußdruckmessungen erfolgte, zeigte ähnliche Unterschiede zwischen den Gruppen, die aufgrund der geringeren Fallzahl nicht immer signifikant waren.

### 3.6. Klinische Untersuchung

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung anhand des Bewertungsschemas nach McKay zeigen erwartungsgemäß deutlich schlechtere Ergebnisse für die Kinder mit operativ korrigierten Klumpfüßen im Vergleich zu den gesunden Kontrollkindern. Mit einem medianen McKay-Wert von nur 145 Punkten befindet sich der durchschnittliche Klumpfuß im Punktebereich für einen befriedigend korrigierten Fuß.

Die Kinder der Kontrollgruppe, deren Füße ebenfalls nach dem McKay-Schema bewertet wurden, zeigen einen medianen Punktwert von 180.

Dieser deutliche Unterschied zeigt eine klare statistische Signifikanz ( $p < 0,001$ ) (Abb.15).

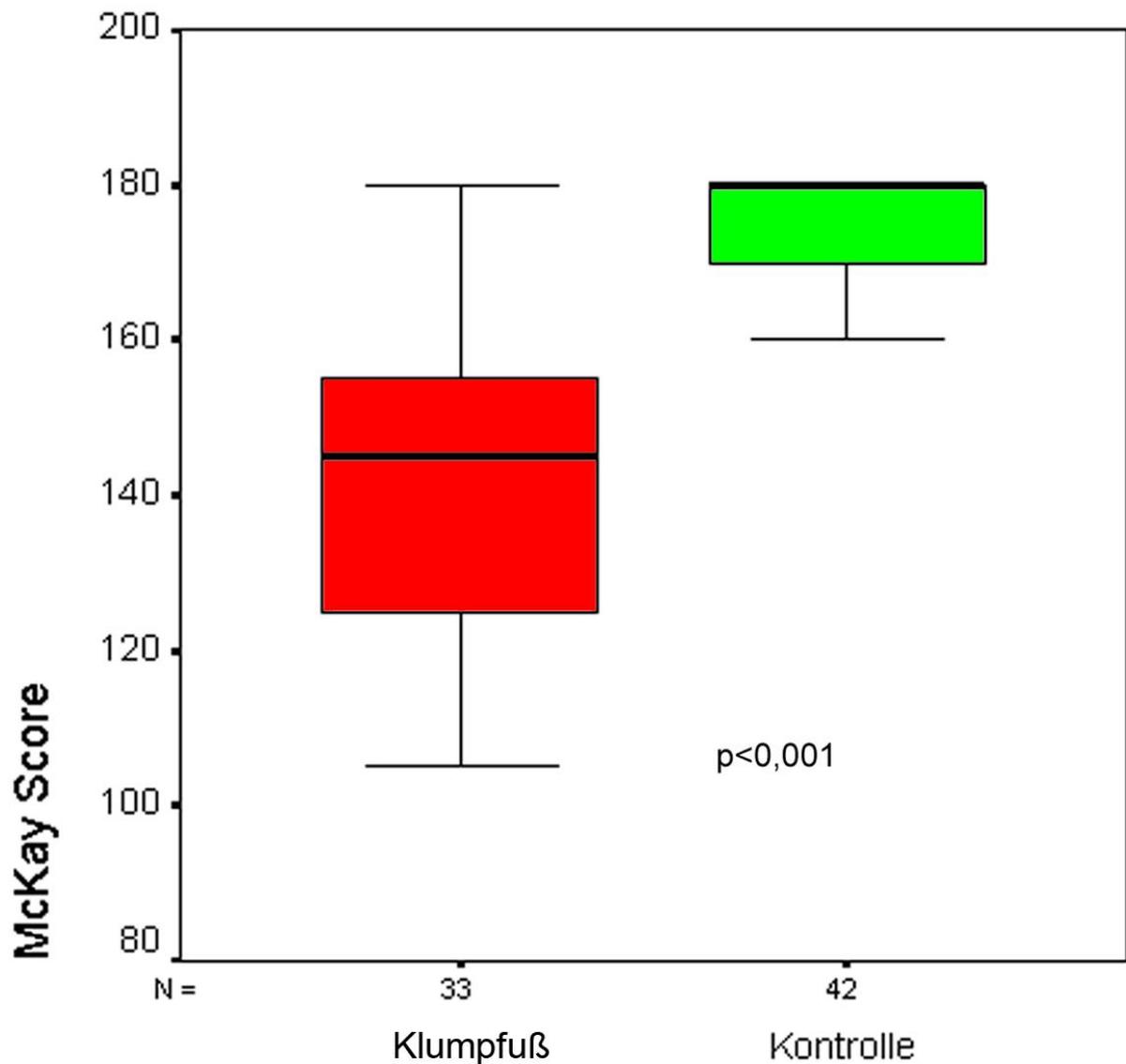


Abb.15) Klinische Untersuchungsergebnisse anhand des McKay-Schema

Nach der Einteilung von McKay erfüllen 24% der Klumpfüße die Kriterien für ein gutes oder exzellentes Therapieergebnis.

55% der Klumpfußkinder zeigten ein befriedigendes und 21% ein schlechtes Ergebnis.

Die Füße der Kontrollgruppe erfüllten alle die Voraussetzung für die McKay-Kategorie gut oder exzellent (Abb.16).

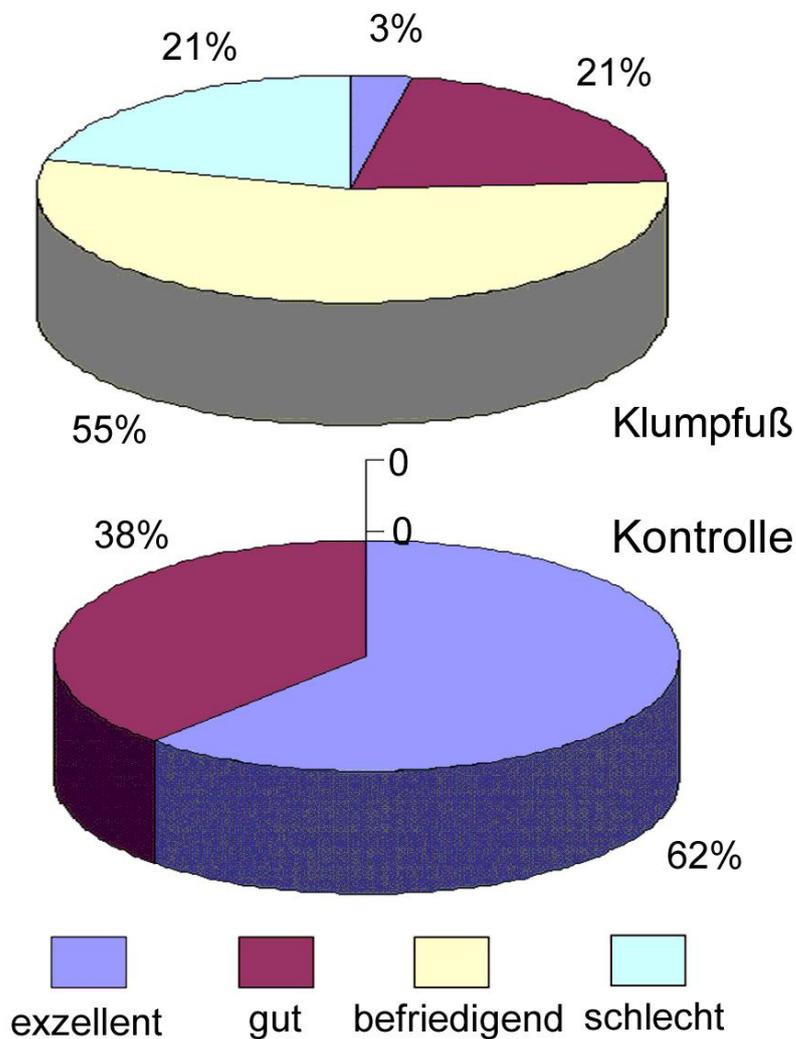


Abb.16) Zuordnung der Füße in die vier McKay-Kategorien

## 3.7. Beispiele:

Abbildung 17 zeigt einen 5-jährigen Jungen, der beidseits ein dorsomediales Release erhalten hatte. Mit 125 McKay-Punkten liegt er an der unteren Grenze der befriedigend therapierten Klumpfüße. Deutlich erkennbar ist die Vorfußadduktion. Der mediale Plantarwinkel liegt bei etwa  $2^\circ$  und somit unterhalb des Mittelwertes mit der doppelten Standardabweichung der Kontrollgruppe.



Abb.17) 5-jähriger Junge mit beidseitigem Klumpfuß bei Z.n. dorsomedialem Release, McKay Score 125 (Kategorie: befriedigend)

In Abbildung 18 erkennt man bei einem 5-jährigen Jungen nach rechtsseitigem dorsomedialen Release trotz gutem klinischen Therapieergebnisses (160 McKay-Punkte) die verschmälerte Klumpfußwade sowie einen verkürzten Fuß.

Therapieversager mit einem McKay-Punktwert von unter 90 gab es keine.



Abb.18) 5-jähriger Junge mit rechtsseitigem Klumpfuß bei Z.n. dorsomedialem Release, McKay Score 160 (Kategorie: gut)