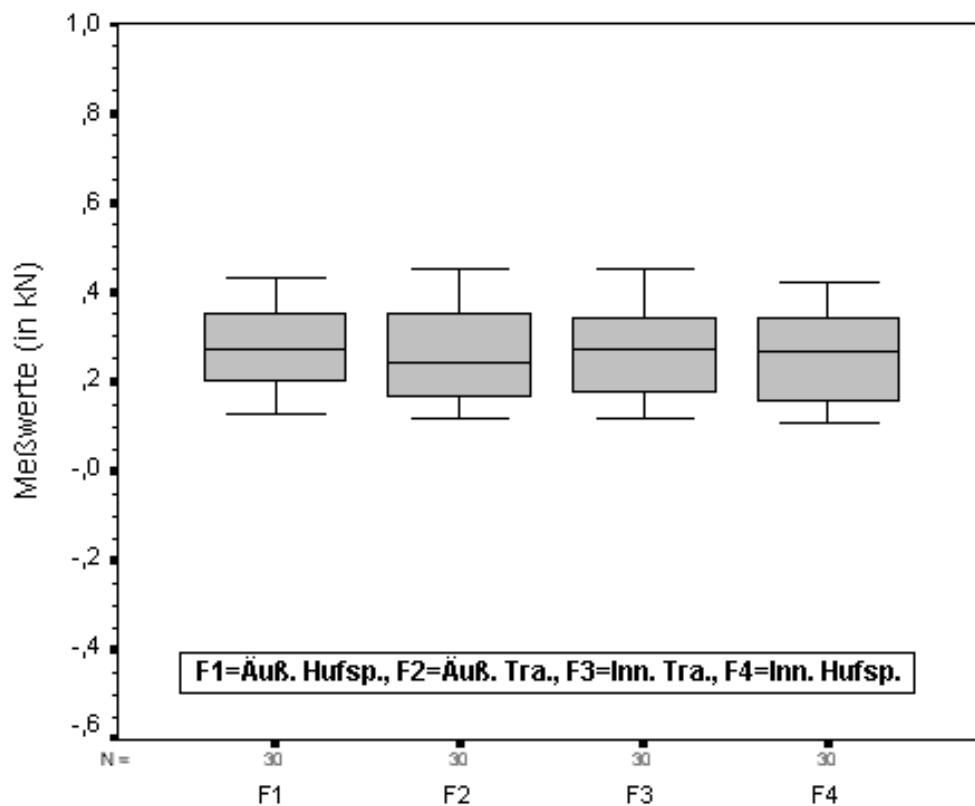


## 4. ERGEBNISSE

### 4.1 Statische Versuche in der Druckpresse

#### 4.1.1 Messungen ohne Keil im Trachtenbereich

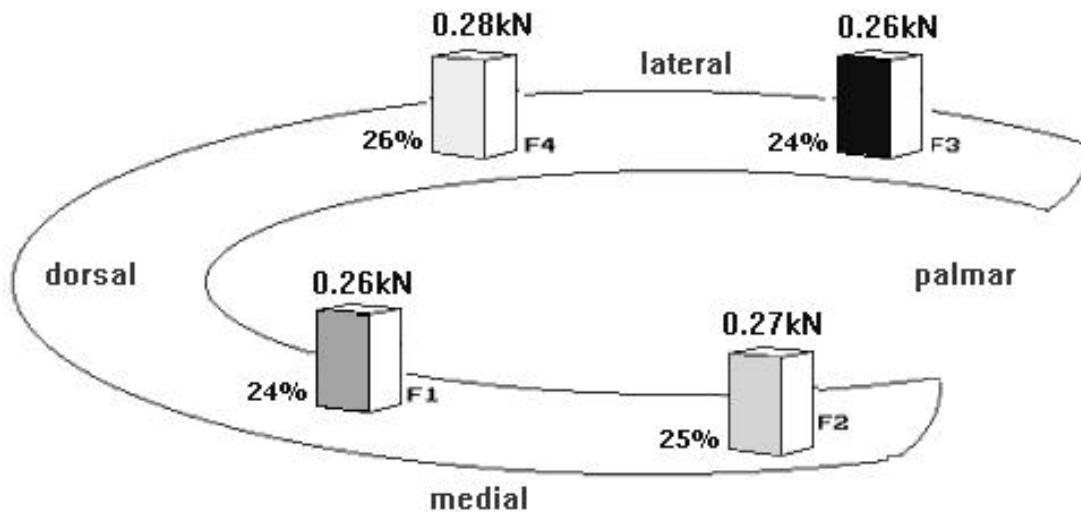
Die folgende Graphik veranschaulicht die Verteilung der Meßwerte in der Druckpresse von 30 Präparaten bei einer Belastung mit 440 kg. Es werden der mittlere 50%-Bereich, die oberen und unteren Extreme sowie der Medianwert in Form von Boxplots angezeigt.



**Abbildung 33:** Verteilung der absoluten Meßwerte in der Druckpresse (N=30) (Kräfte ohne Trachtenhochstellung), **F1 bis F4**=Druckaufnehmer

Bei Betrachtung dieser Verteilung (Abb. 33) fallen die relativ gleichmäßigen Werte an allen Meßpunkten auf. Sowohl der Medianwert (50%-Punkt der Verteilung), das erste Quartil (25%-Punkt der Beobachtungen), das dritte Quartil (75%-Punkt der Beobachtungen) als auch die Maximal- und Minimalwerte weisen homogene Meßdaten auf. Im Mittel zeigen die äußeren Hufspitzen (**F1**) eine Kraft von 0,28 kN, die äußeren Trachten (**F2**) eine Kraft

von 0,26 kN, die inneren Trachten (**F3**) einen Wert von 0,27 kN und die inneren Hufspitzen (**F4**) einen Wert von 0,26 kN. Betrachtet man die graphische Gesamthufkraftverteilung (Abb. 34), kann die folgende gemittelte prozentuale Verteilung wie folgt aufgestellt werden:



**Abbildung 34:** Verteilung der absoluten Meßwerte in der Druckpresse (N=30)  
(Kraft von 440 kg ohne Trachtenhochstellung)

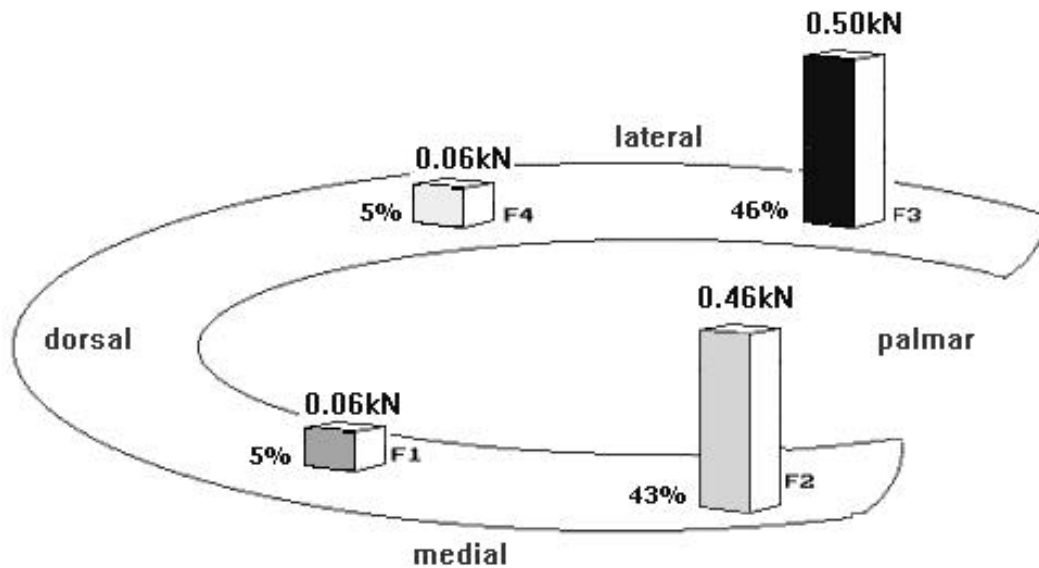
Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Belastung einer Zehe bei planer Fußung in der Druckpresse gleichmäßige Kräfteverhältnisse unter den vier Druckaufnehmern mit 440 kg aufweist. Dies bedeutet eine gleichmäßige Kräfteverteilung sowohl im Hufspitzen- als auch im Trachtenbereich und sowohl im lateralen als auch im medialen Bereich. Die dargestellte prozentuale Verteilung stellt die Verhältnisse deutlicher dar.

#### 4.1.2 Messungen mit Keil im Trachtenbereich

Im Vergleich hierzu ergibt die Verteilung der Tragranddruckes unter dem Einfluß eines Keiles im Trachtenbereich andere Werte. Diese Meßreihe wurde mit den identischen Präparaten unmittelbar nach der "planen Messung" durchgeführt.

Die Kräfte in den Hufspitzen sinken (0,06 kN in den äußeren (**F1**) und 0,06 kN in den inneren Hufspitzen (**F4**)), die Werte in den Trachten steigen (0,50 kN in den äußeren (**F2**))

und 0,46kN in den inneren Trachten (**F3**)). Abbildung 35 zeigt die graphische Hufkraftverteilung mit entsprechenden prozentualen Anteilen.



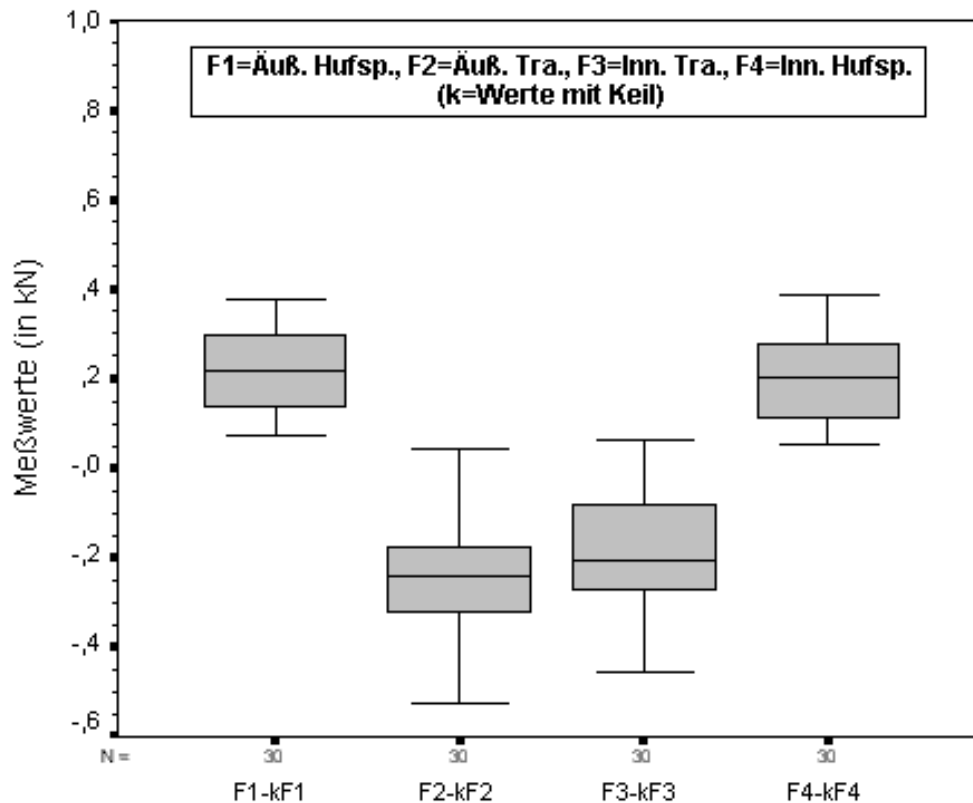
**Abbildung 35:** Verteilung der absoluten Meßwerte in der Druckpresse (N=30)  
(Kraft von 440 kg mit Trachtenhochstellung)

Die Kräfte unter den Hufspitzen verringern sich im Verhältnis zu den Trachten auf ca. 5% der Gesamtkraft, und die Kräfte unter den Trachten erhöhen sich auf 43 bzw. 46% der Gesamtkraft. Der laterale (äußere) Tragrand weist eine geringgradige Mehrbelastung von ca. 4% gegenüber dem medialen (inneren) Tragrand auf.

#### 4.1.3 Ermittelte Differenzen ohne/mit Keil

Um die Unterschiede zwischen den Meßwerten ohne und mit Keil besser betrachten zu können, wurde hier noch eine graphische Darstellung der Kräfteunterschiede erstellt (siehe Abb. 36).

Gegenübergestellt werden die Kräfteunterschiede zwischen planer und hochgestellter Fußung des gleichen Präparates. Aus dem Boxplot (Abb. 36) kann festgestellt werden, daß die Differenzen der äußeren Hufspitzen (**F1**) einen Median von 0,22 kN aufweisen, die der äußeren Trachten (**F2**) einen Median von -0,24 kN, die der inneren Trachten (**F3**) einen Median von -0,19 kN und schließlich die der inneren Hufspitzen (**F4**) einen Median von 0,21 kN.



**Abbildung 36:** Verteilung der absoluten Meßwerte in der Druckpresse (N=30)  
(Druckdifferenzen zwischen Belastungen ohne und Belastungen mit Trachtenhochstellung)  
**F1 bis F4=Kräfte ohne Keil, kF1 bis kF4=Kräfte mit Keil**

Die Differenzen im Trachtenbereich (**F2** und **F3**), also der Unterschied zwischen planer und hochgestellter Fußungskraft, sind mit negativen Werten gekennzeichnet. Dies läßt sich durch die Differenz zwischen der kleinen Kraft (plane Fußung) und der großen Kraft (Hochstellung) erklären. Somit wird die Zunahme der Hufkraft im Trachtenbereich deutlich.

Die Differenzen im Hufspitzenbereich (**F1** und **F4**), ebenfalls zwischen planer und hochgestellter Fußungskraft, weisen positive Werte auf. Hier handelt es sich um die Differenz zwischen einer großen und einer kleineren Hufkraft. Diese Werte bedeuten eine Abnahme der Hufkraft.

Die Ergebnisse des Paarvergleiches bei abhängigen Stichproben (nach Wilcoxon) ermöglichen folgende Betrachtungen:

- **Äußere Hufspitze (F1k-F1)**

Alle 30 Präparate (also 100% der Messungen) weisen positive Werte auf, d.h. eine Verringerung der Hufkraft in diesem Bereich.

- **Äußere Trachte (F2k-F2)**

28 Präparate (also 93,3% der Messungen) zeigen negative Werte, d.h. eine Erhöhung der Hufkraft in diesem Bereich. Zwei Präparate weisen hier positive Werte auf (jeweils von 0,01kN und 0,04kN).

- **Innere Trachte (F3k-F3)**

26 Präparate (entspricht 86,7% der Messungen) enthalten negative Werte, d.h. eine Erhöhung der Kraft im Trachtenbereich. Hier befinden sich Zahlen mit positiven Werten (von 0,01 und 0,06kN).

- **Innere Hufspitze (F4k-F4)**

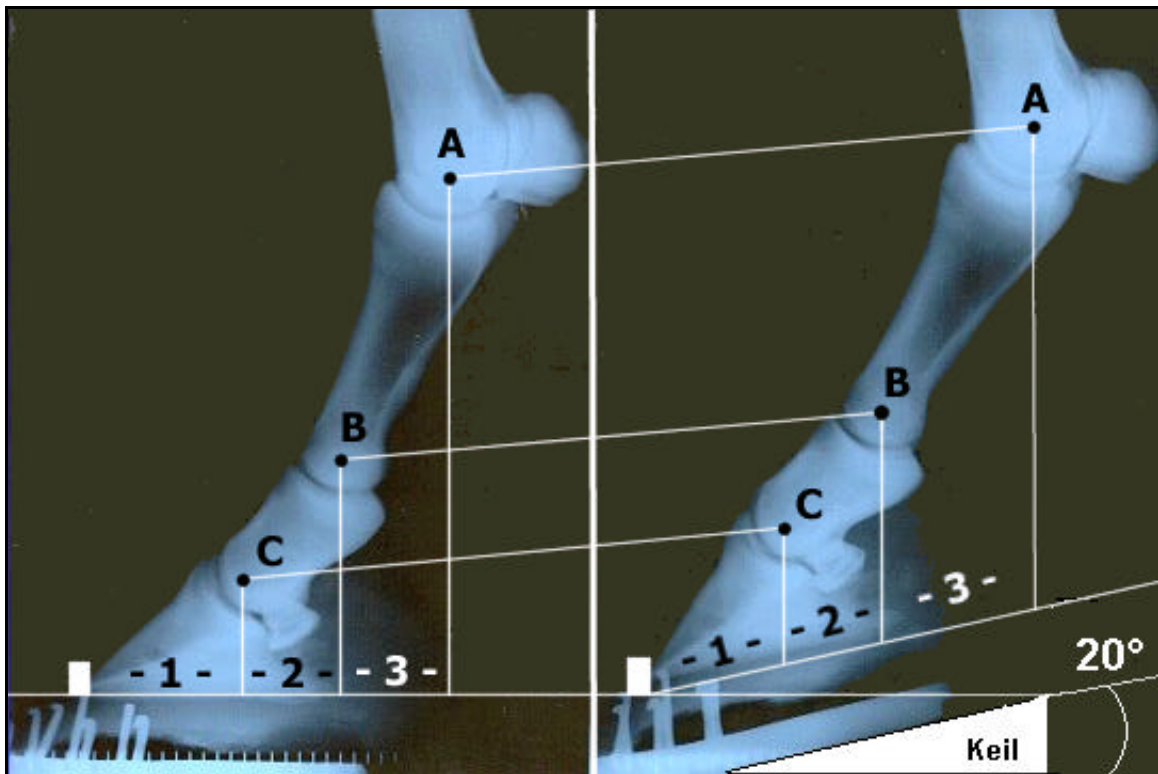
30 Meßwerte (also 100% der Messungen) weisen einen negativen Wert auf, d.h. eine Verringerung der Kraft im Hufspitzenbereich.

- ***Signifikanz der Trachtenhochstellung***

Die p-Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeiten) sind bei allen vier Meßpunkten kleiner als 5% ( $p < 0,001$ ), daher kann bei allen vier Vergleichen von deutlichen Unterschieden gesprochen werden. Demzufolge ist ein deutlicher Einfluß des Keils auf die Druckverhältnisse vorhanden.

#### **4.1.4 Röntgenologische Betrachtung**

Abbildung 37 zeigt den Vergleich zwischen einer planen Fußung und einer Fußung mit einem Keil im Trachtenbereich. Beide Aufnahmen entstehen aus dem gleichen Präparat, bei gleichem ausgeübten Druck von 450 kg. Auf der linken Seite ist die Druckbelastung bei planer Fußung abgebildet, auf der rechten Seite die gleiche Zehe (bei gleichem Druck) unter dem Einfluß einer Trachtenhochstellung.



**Abbildung 37:**

Kontrolle der Zehenstellung ohne und mit Trachtenhochstellung in der Druckpresse

(Die Zehe wird in beiden Fällen einem Druck von 440 kg ausgesetzt)

A=Fesselgelenk, B=Krongelenk, C=Hufgelenk, 1=Hufspitze-Hufgelenk, 2=Hufgelenk-Krongelenk, 3=Krongelenk-Fesselgelenk

Referenzpunkte auf den Aufnahmen sind die drei Gelenkdrehpunkte (A=Fesselgelenk, B=Krongelenk, C=Hufgelenk) und die Abstände zwischen den senkrecht vom Gelenkdrehpunkt zum Boden projizierten Gelenklinien (1=Hufspitze-Hufgelenk, 2=Hufgelenk-Krongelenk, 3=Krongelenk-Fesselgelenk).

Von proximal nach distal können an der belasteten Gliedmaße folgende Beobachtungen gemacht werden: Der Einfluß des Keiles von 3 cm (entspricht einer Winkelzunahme von ca. +20°) bewirkt eine gleichmäßige Erhöhung aller Gelenkdrehpunkte (A, B und C) im Vergleich zur planen Fußung. Diese Erhöhung entspricht dem zugefügten Winkel des Keiles und ist an allen Drehpunkten in einem ähnlichen Verhältnis erhöht.

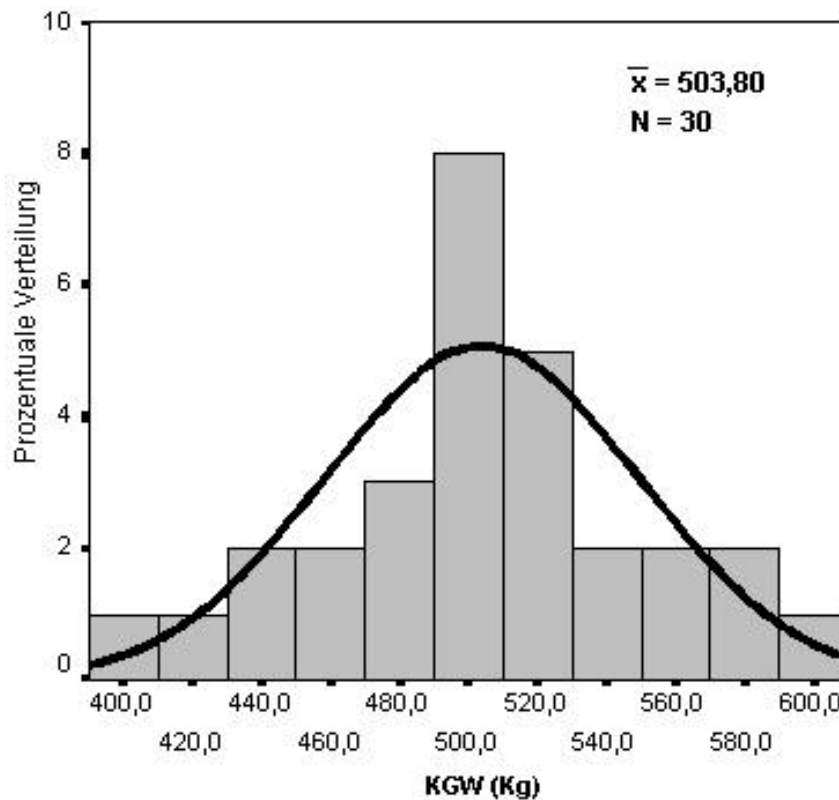
Die Abstände zwischen der Hufspitze und dem Hufgelenk (1) werden durch den Keil (und den steiler werdenden Winkel) etwas verkürzt. Zwischen dem Hufgelenk und dem Krongelenk (2) ändert sich nichts, und schließlich vergrößert sich der Abstand zwischen dem Krongelenk und dem Fesselgelenk (3) (durch den flacher werdenden Winkel). Die

Winkeländerung bewirkt eine vermehrte Beugung des Hufgelenkes und eine vermehrte Streckung des Kron- und Fesselgelenkes.

Wird der Druck auf die in der Druckpresse eingespannte Zehe weiter erhöht, kommt es zu einer fortschreitenden Absenkung des Fesselgelenkes (**A**) und somit zu einem stumpferen Winkel in diesem Gelenk. Sowohl das Krongelenk (**B**) als auch das Hufgelenk (**A**) werden vermehrt gebeugt. Die Abstände werden weiter verkürzt (**1** und **2**) bzw. vergrößert (**3**).

## 4.2 Dynamische Versuche an stehenden Pferden

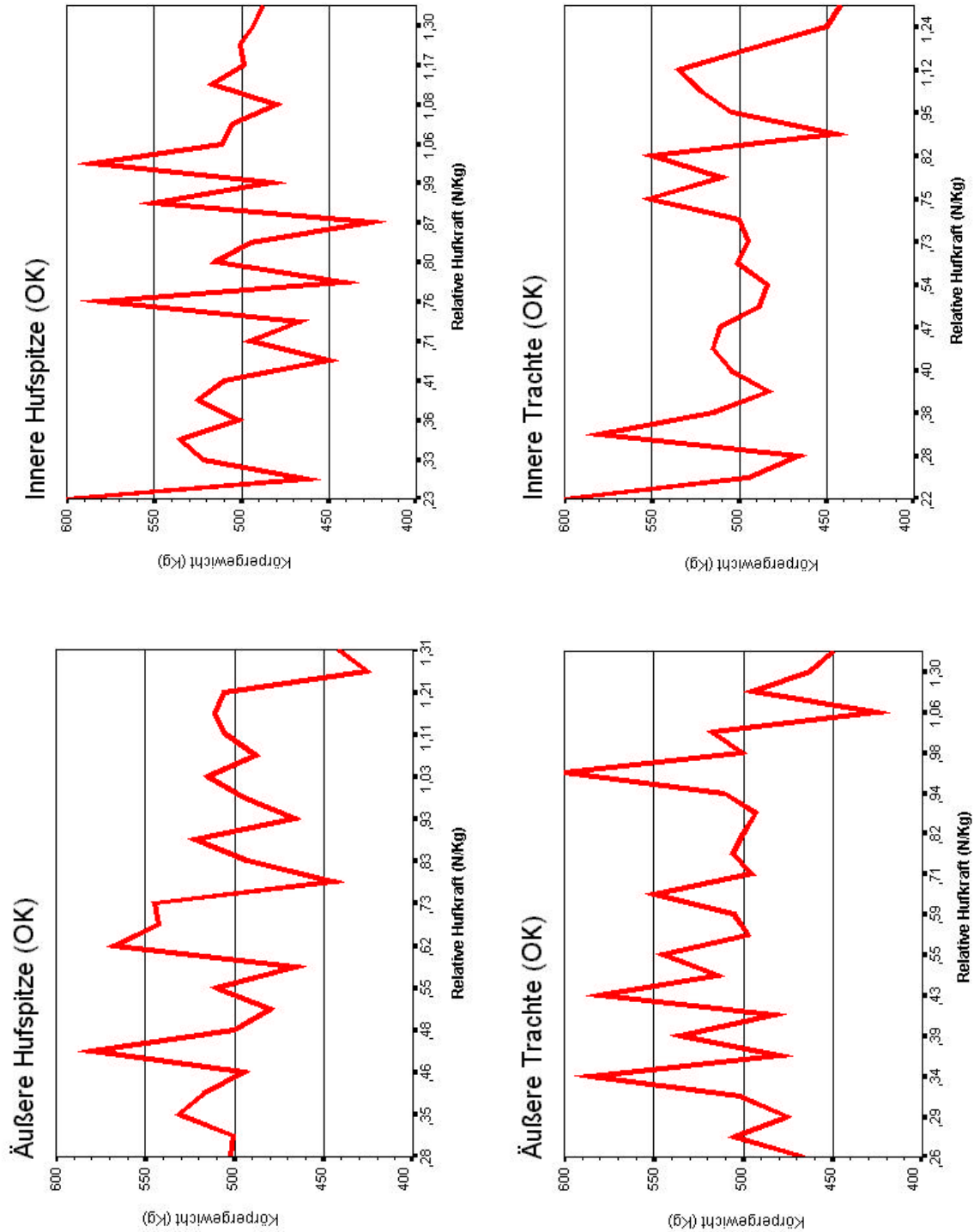
### 4.2.1 Gewichtsverteilung der gemessenen Pferde



**Abbildung 38:** Prozentuale Verteilung der untersuchten Körpergewichte

Abbildung 38 zeigt die prozentuale Verteilung der Körpergewichte aller untersuchten Pferde: die leichtesten Pferde wogen ca. 400 kg, die schwersten ca. 600 kg, und die deutliche Mehrheit von Gewichten lag zwischen 480 kg und 520 kg.

### 4.2.2 Beziehungen zwischen Körpergewicht und Hufkraft

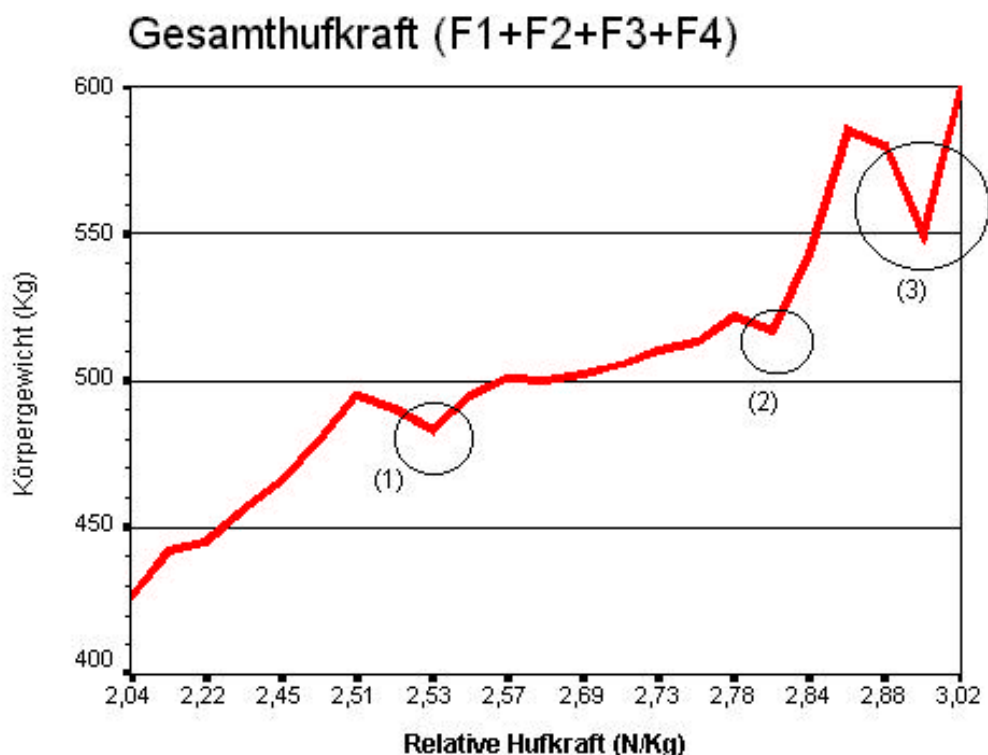


**Abbildung 39:**  
Hufkräfte der einzelnen Druckrezeptoren im Verhältnis zum Körpergewicht  
(Meßwerte bei planer Fußung)



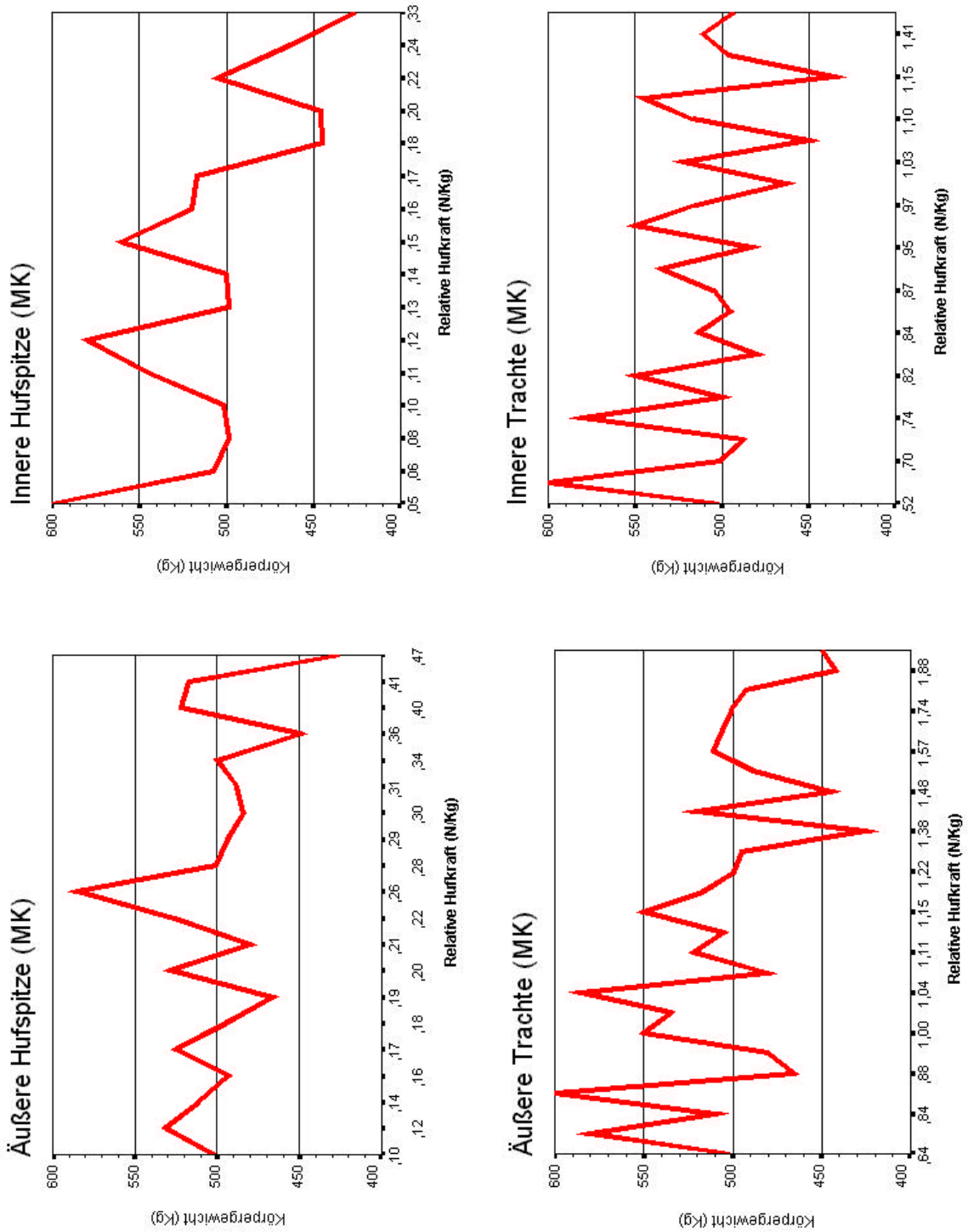
Das Verhältnis der einzelnen Druckrezeptoren zum Körpergewicht zeigt große Schwankungen, die es unmöglich machen, auf eine objektive Relation zurückzuschließen. Die relative Hufkraft (N/Kg) in den einzelnen Quadraten (äußere und innere Hufspitze, äußere und innere Trachte) verhält sich unabhängig vom Körpergewicht des Pferdes.

Dagegen läßt das Auftragen der Gesamthufkraft im Verhältnis zum Körpergewicht eine eindeutige Relation zu. Es befinden sich drei Ausreißer, die auf Meßfehler am stehenden Pferd zurückzuführen sind (1, 2, 3): bei zunehmendem Körpergewicht steigt entsprechend die Hufkraft (Abb. 40).



**Abbildung 40:**  
Gesamthufkräfte im Verhältnis zum Körpergewicht (plane Fußung)

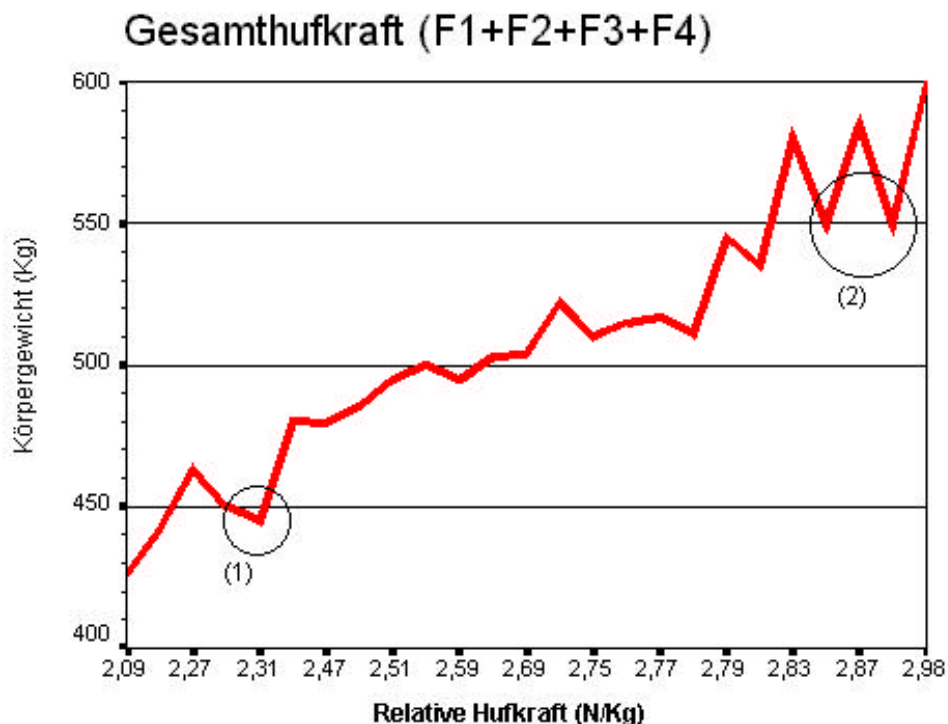
Diesen Meßwerten gegenüber werden nun die Ergebnisse bei der hochgestellten Fußung im Verhältnis dargestellt. Es wird ebenfalls die Hufkraft im Verhältnis zum Körpergewicht aufgetragen:



**Abbildung 41:**  
Hufkräfte der einzelnen Druckrezeptoren im Verhältnis zum Körpergewicht  
(Messwerte bei hochgestellten Trachten)

Das Verhältnis der einzelnen Druckrezeptoren zum Körpergewicht zeigt große Schwankungen, die es unmöglich machen, auf eine objektive Relation zurückzuschließen.

Die relative Hufkraft (N/Kg) in den einzelnen Quadranten (äußere und innere Hufspitze, äußere und innere Trachte) verhält sich unabhängig vom Körpergewicht des Pferdes. Dagegen läßt das Auftragen der Gesamthufkraft im Verhältnis zum Körpergewicht eine eindeutige Relation zu. Es befinden sich zwei Ausreißer, die auf Meßfehler am stehenden Pferd zurückzuführen sind (1, 2): bei zunehmendem Körpergewicht steigt entsprechend die Hufkraft (Abb. 42).



**Abbildung 42:** Gesamthufkräfte im Verhältnis zum Körpergewicht (hochgestellte Trachte)

### 4.2.3 Betrachtung beider Gliedmaßen

#### 4.2.3.1 Prozentuale Verteilung der Hufkraft

Abb. 43 und 44 veranschaulichen die unterschiedlichen prozentualen Hufkraftverteilungen. Der Vergleich zwischen planer Fußung und Fußung mit einer Trachtenhochstellung zeigt deutlich die Zunahme der Hufkraft im Trachtenbereich bei Hochstellung der Trachten und die Abnahme der Hufkraft im Hufspitzenbereich.

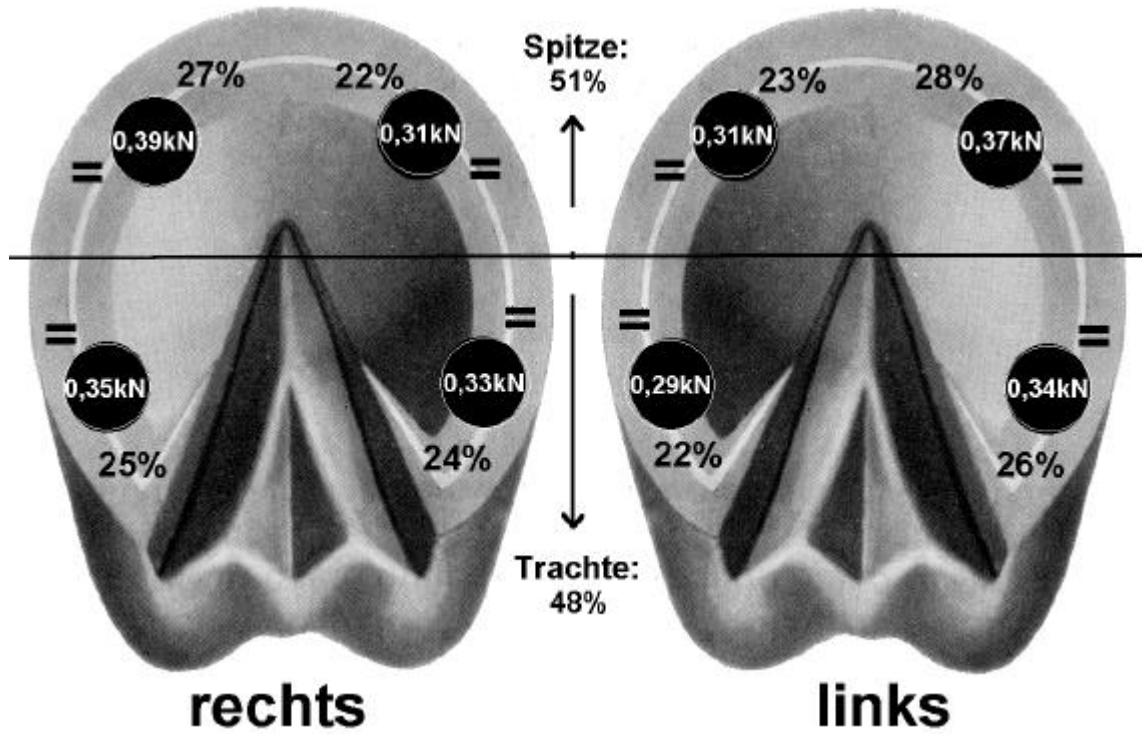


Abbildung 43:

Absolute und prozentuale Kraftverteilung an stehenden Pferden an den 4 Meßpunkten ohne Trachtenhochstellung (N=30)

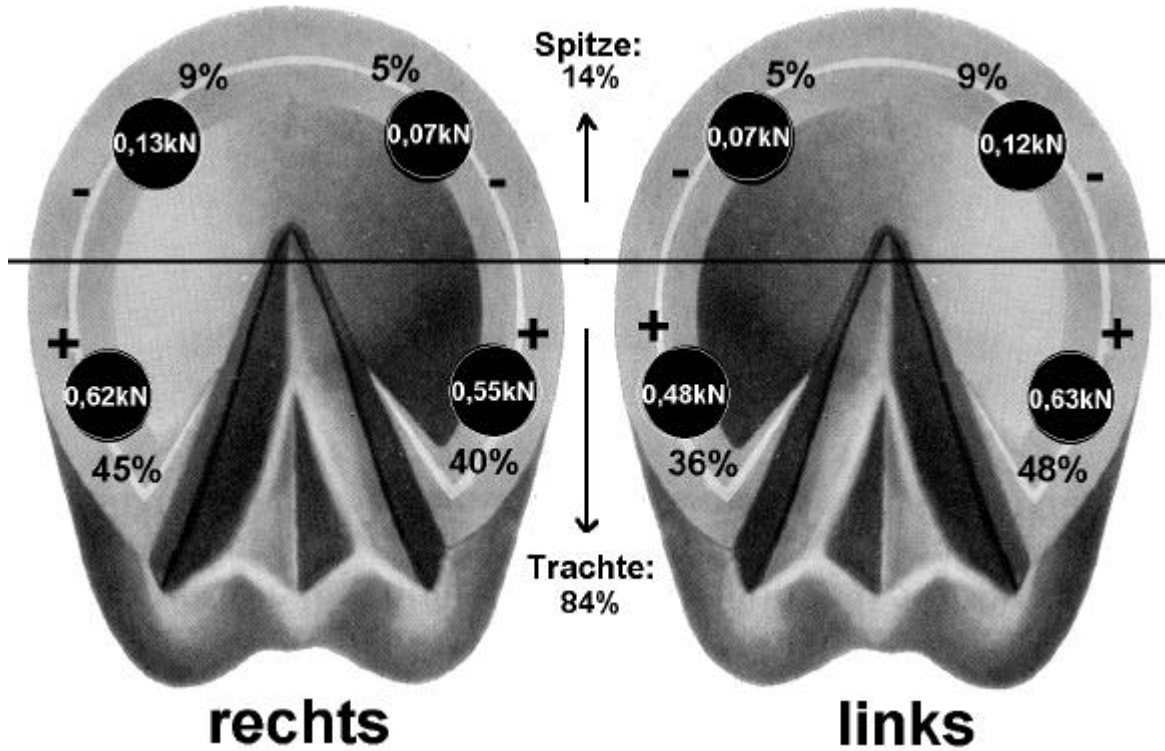


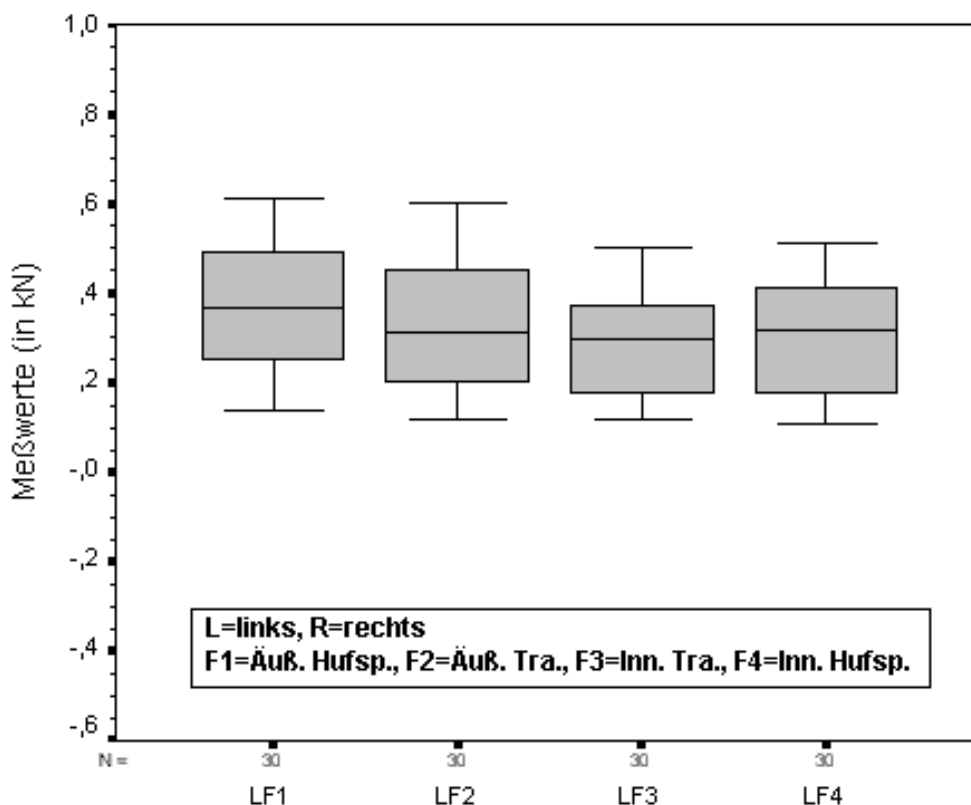
Abbildung 44:

Absolute und prozentuale Kraftverteilung an stehenden Pferden an den 4 Meßpunkten mit Trachtenhochstellung (N=30)

Die prozentuale Verteilung zwischen Hufspitzen- und Trachtenbereich ist nahezu gleichmäßig verteilt (51% zu 48%) bei planer Fußung. Bei hochgestellter Fußung verlagert sich dieses Verhältnis zugunsten einer Hufkraftzunahme im Trachtenbereich und einer Abnahme im Hufspitzenbereich (14% zu 84%).

#### 4.2.3.2 Gliedmaßen ohne Keileinsatz

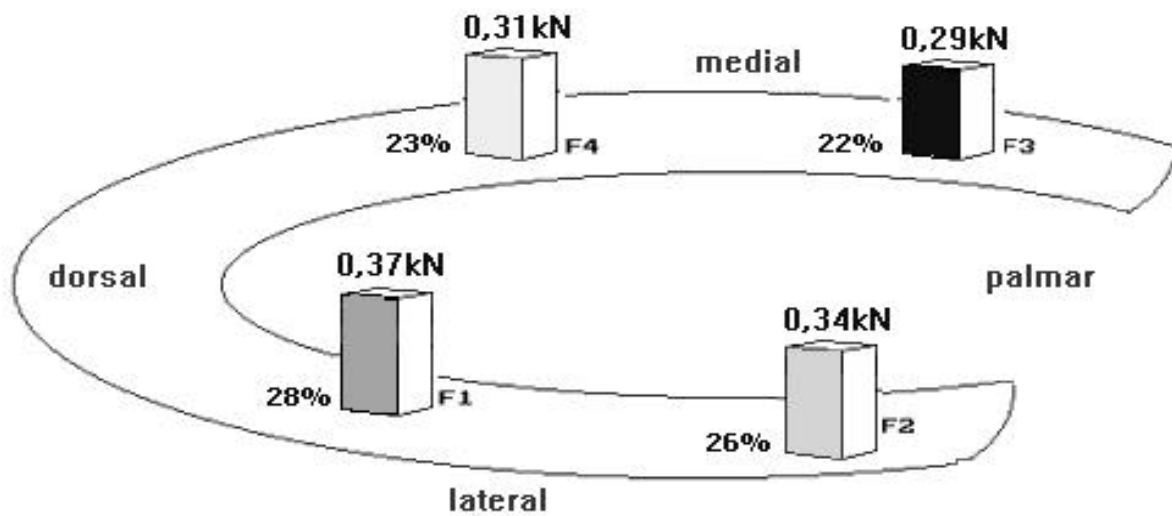
Bei Betrachtung dieser Verteilung (Abb. 45) können folgende Beobachtungen gemacht werden: Im Mittel zeigen die äußeren Hufspitzen (**F1**) eine Kraft von 0,37 kN, die äußeren Trachten (**F2**) eine Kraft von 0,34 kN, die inneren Trachten (**F3**) einen Wert von 0,29 kN und die inneren Hufspitzen (**F4**) einen Wert von 0,31 kN.



**Abbildung 45:** Verteilung der absoluten Meßwerte an stehenden Pferden (N=30)  
LF1 bis LF4=Druckaufnehmer

Die absoluten Gesamthufkräfte und die prozentuale Verteilung dieser Kräfte lassen sich deutlich mit graphischen Säulen veranschaulichen (Abb. 46). Die Hufkräfte weisen unter

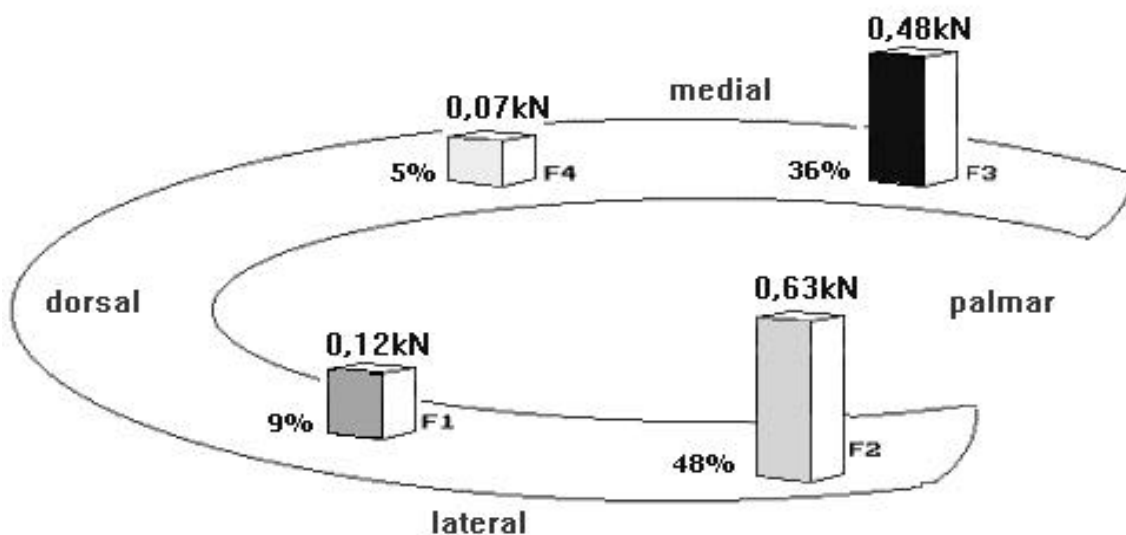
allen vier Druckrezeptoren Werte von 0,29kN bis 0,37kN, die prozentuale Hochrechnung zeigt eine Belastung von 22% bis 28%.



**Abbildung 46:** Absolute Gesamthufkräfte und prozentuale Verteilung (Gliedermaßen bei planer Fußung, N=30)

#### 4.2.3.3 Gliedermaßen mit Keileinsatz

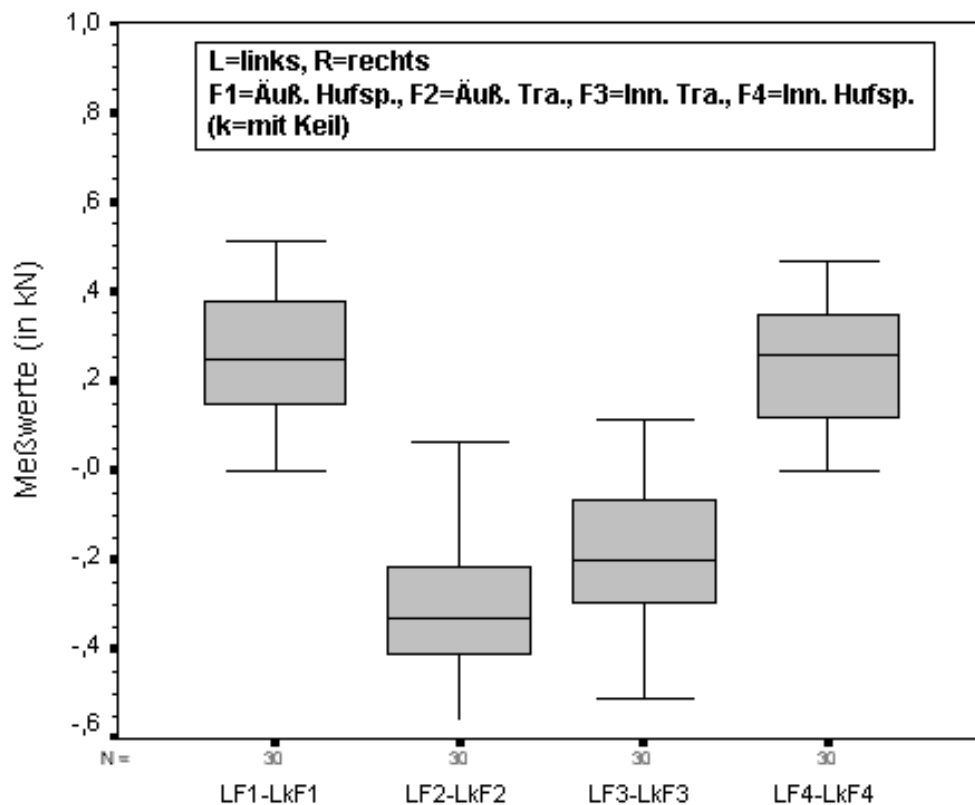
Bei den Messungen an stehenden Pferden wurde eine ähnliche Prozedur wie in der Druckpresse durchgeführt.



**Abbildung 47:** Absolute Gesamthufkräfte und prozentuale Verteilung (Gliedermaßen bei hochgestellten Trachten, N=30)

Hier wird eine deutliche Druckänderung in allen Bereichen des Tragrandes deutlich. Die Kräfte in den Hufspitzen sinken (0,12 kN in den äußeren (**F1**) und 0,07 kN in den inneren Hufspitzen (**F4**)), die Werte in den Trachten steigen (0,63 kN in den äußeren (**F2**) und 0,48kN in den inneren Trachten (**F3**)). Hier wird eine deutliche Druckänderung in allen Bereichen des Tragrandes ersichtlich. Die Kräfte in den Hufspitzen sinken (0,12 kN in den äußeren (**F1**) und 0,07 kN in den inneren Hufspitzen (**F4**)), die Werte in den Trachten steigen (0,63 kN in den äußeren (**F2**) und 0,48kN in den inneren Trachten (**F3**)).

#### 4.2.3.4 Ermittelte Differenzen ohne/mit Keil



**Abbildung 48:** Verteilung der Differenzen (N=30)

Die ermittelten Mediane von Abb. 48 lassen sich wie folgt zusammenfassen: die äußeren Hufspitzen (**F1**) haben eine Kraft von 0,25 kN, die äußeren Trachten (**F2**) eine Kraft von minus 0,30 kN, die inneren Trachten (**F3**) einen Wert von -0,19 kN und die inneren Hufspitzen (**F4**) einen Wert von 0,24 kN. Der Test ergibt:

- **Äußere Hufspitze (F1k-F1):**

Alle 29 Gliedmaßen am stehenden Pferd (also 96,7% der Messungen) weisen negative Werte, d.h. eine Verringerung der Kraft in diesem Bereich auf (ein Wert liegt im positiven Bereich mit 0kN).

- **Äußere Trachte (F2k-F2):**

29 Gliedmaßen am stehenden Pferd (also 96,7% der Messungen) weisen positive Werte, d.h. eine Erhöhung der Kraft in diesem Bereich auf. Eine Messung zeigt hier negative Werte (von 0,04kN und 0,01kN).

- **Innere Trachte (F3k-F3):**

28 Gliedmaßen am stehenden Pferd (entspricht 93,3% der Messungen) enthalten negative Wert, d.h. eine Erhöhung der Kraft im Trachtenbereich. Hier befinden sich zwei Werte mit positiven Werten (0,01 und 0,11kN).

- **Innere Hufspitze (F4k-F4):**

29 Gliedmaßen am stehenden Pferd (also 96,7% der Messungen) weisen negative Werte, d.h. eine Verringerung der Kraft im Hufspitzenbereich auf. Ein Meßwert beträgt 0kN.

- **Signifikanz der Trachtenhochstellung**

Die p-Werte (Überschreitungswahrscheinlichkeiten) sind bei allen vier Meßpunkten kleiner als 5% ( $p < 0,001$ ), daher kann bei allen vier Vergleichen von deutlichen Unterschieden auch am stehenden Pferd gesprochen werden. Demzufolge ist ein deutlicher Einfluß des Keils auf die Druckverhältnisse vorhanden.

#### **4.3 Betrachtung der Rehepferde**

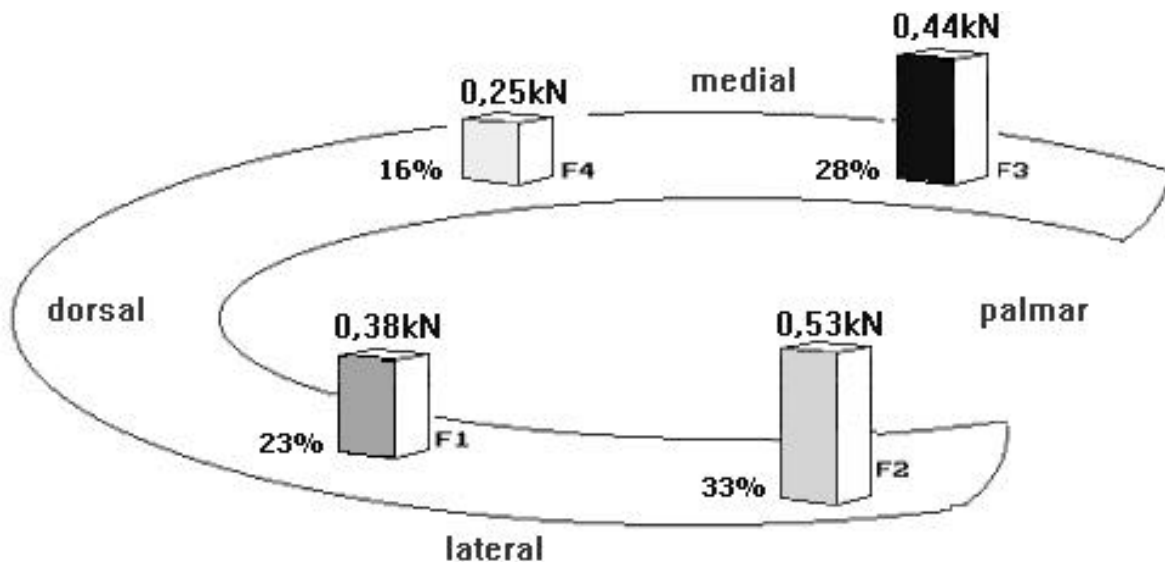
Die folgenden Abbildungen stellen die gemittelten Meßergebnisse von fünf Rehepatienten dar, die alle eine mehr oder weniger hochgradige Hufrehe an beiden Vordergliedmaßen zeigten. Bei diesen Pferden wurde genauso verfahren wie bei den lahmfreien Pferden. Es



wurde eine Meßserie bei planer Fußung und anschließend diese Meßserie bei hochgestellten Trachten wiederholt.

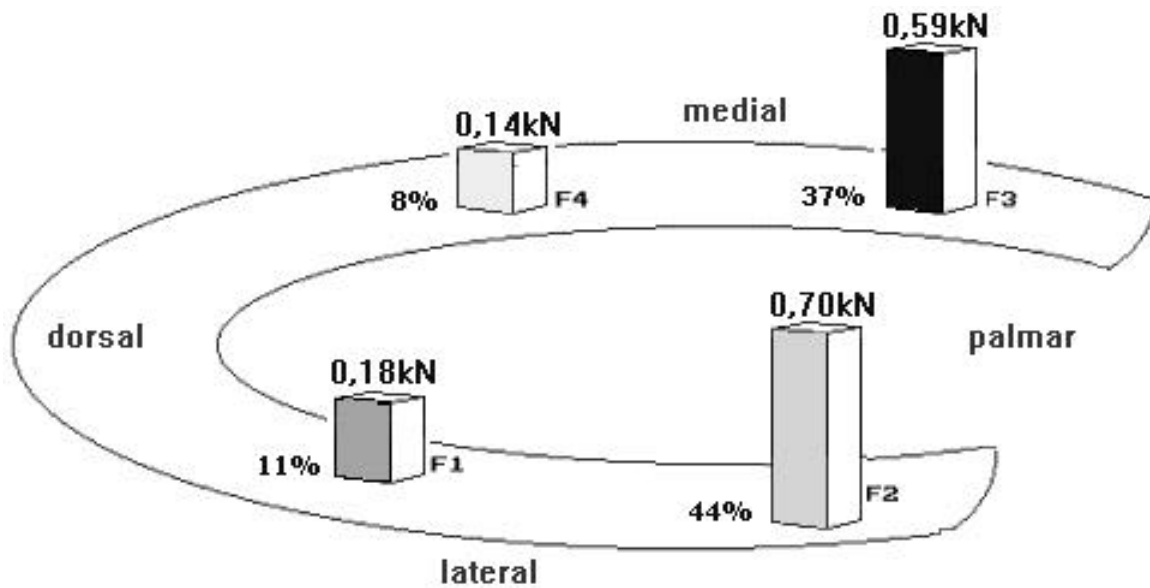
#### 4.3.1 Betrachtung der Gliedmaßen

Die Mittelwerte lassen sich wie folgt zusammenfassen (Abb. 49): die äußeren Hufspitzen (**F1**) haben eine Kraft von 0,38 kN, die äußeren Trachten (**F2**) eine Kraft von 0,53 kN, die inneren Trachten (**F3**) einen Wert von 0,44 kN und die inneren Hufspitzen (**F4**) einen Wert von 0,25 kN. Die prozentuale Verteilung läßt sich wie folgt zusammenfassen:



**Abbildung 49:** Absolute Gesamthufkräfte und prozentuale Verteilung (N=5)  
(Gliedmaßen bei planer Fußung von Rehepatienten, Hufspitze=39%, Trachte=61%)

Bei diesen Messungen (Abb. 49) fällt auf, daß die Belastung aller vier Druckrezeptoren bei planer Fußung nicht gleichmäßig verteilt ist. Im Gegensatz zu den lahmfreien Pferden weisen die Trachten der Rehepatienten schon ohne Trachtenhochstellung höhere Werte als die der Hufspitzen auf. Der Vergleich der Messungen mit den lahmfreien Pferden zeigt, daß die Hufspitzenwerte etwa identisch sind, die der Trachten aber wesentlich höher.



**Abbildung 50:** Absolute Gesamthufkräfte und prozentuale Verteilung (N=5)  
(Gliedermaßen bei hochgestellten Trachten von Rehepatienten, Hufspitze=19%, Trachte=81%)

Die Werte bei hochgestellten Trachten kann man wie folgt zusammenfassen (Abb. 50): die äußeren Hufspitzen (**F1**) haben eine Kraft von 0,18 kN, die äußeren Trachten (**F2**) eine Kraft von 0,70 kN, die inneren Trachten (**F3**) einen Wert von 0,59 kN und die inneren Hufspitzen (**F4**) einen Wert von 0,14 kN. Hier steigen die Meßdaten unter den Trachten - ähnlich wie bei den lahmfreien Pferden - jedoch auf höhere Werte. Die Hufspitzen weisen ebenfalls höhere Werte als die lahmfreien Pferde auf.