

Aus dem Bereich Klinische Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Die Reproduzierbarkeit der röntgenologischen Bestimmung von  
Vorder- und Hinterhornansatz des Außenmeniskus zur Planung der  
Meniskustransplantation**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin*

der Medizinischen Fakultät  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES  
2006

Vorgelegt von:

Philippe Guy Claude Wilmes  
Geb. am 23. Juli 1980 in Luxemburg

Aus der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie,  
Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg/Saar  
Direktor: Professor Dr. med. D. Kohn

‘e dietro le venia sì lunga tratta  
di gente, ch’i’ non averei creduto,  
che morte tanta n’avesse disfatta.’

*Dante, La Divina Commedia ; Inferno : Canto III*

Der Einen im Schwingen.

**Abkürzungen**

AMVH	Außenmeniskusvorderhorn
AMHH	Außenmeniskushinterhorn
VH	Vorderhorn
HH	Hinterhorn
MM	Meniskusmittelpunkt
TIL	Tuberculum intercondylare laterale
TIM	Tuberculum intercondylare mediale
VKB	Vorderes Kreuzband
HKB	Hinteres Kreuzband
a.p.	anteroposterior
s.	seitlich
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
bzw.	beziehungsweise

# Die Reproduzierbarkeit der röntgenologischen Bestimmung von Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus zur Planung der Meniskustransplantation

---

<b>1. Zusammenfassung</b>	6
1.1 Abstract	6
1.2 Zusammenfassung	8
<b>2. Einleitung</b>	10
Zielsetzung der Studie	13
<b>3. Material und Methode</b>	14
3.1 Material	14
3.1.1 Einzelkomponenten	14
3.2 Methode	20
3.2.1 Präparation und Anfertigung der Röntgenaufnahmen	20
3.2.2 Vermessung der Röntgenaufnahmen	23
3.2.3 Auswertung der Röntgenaufnahmen	28
<b>4. Ergebnisse</b>	31
4.1 Positionen der Meniskusansatzstellen	31
4.2 Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau	33
4.3 Positionen der Meniskusansatzstellen in Bezug zum TIL	35
4.4 Deskriptive Statistik der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Strukturen des Tibiaplateaus	36
4.4.1 Positionen der Meniskusmittelpunkte in Bezug zum Tibiaplateau	36
4.4.2 Relative Positionen der Meniskusmittelpunkte in Bezug zum Tibiaplateau	39
4.4.3 Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau	42
4.4.4 Position des TIL in Bezug zu den Meniskusmittelpunkten	44

4.4.5 Relative Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau	47
4.4.6 Verhältnis von TIL und Meniskusmittelpunkten in Bezug zum Tibiaplateau	48
4.5 Anwendung	52
4.5.1 Präzision der Reproduzierbarkeit der Meniskusmittelpunkte auf Röntgenaufnahmen	52
4.5.2 Präzision von tibialen Bohrtunneln mit unserer Methode	53
<b>5. Diskussion</b>	55
5.1 Material und Methode	58
5.1.1 Material	58
5.1.2 Methode	59
5.2 Ergebnisse	65
5.3 Anwendbarkeit	67
<b>6. Schlußfolgerung</b>	68
<b>7. Anhang</b>	69
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	75
<b>9. Danksagung</b>	92
<b>10. Lebenslauf</b>	93

## **1. Zusammenfassung**

### **1.1 Abstract**

The treatment of meniscus lesions is one of the most frequently performed interventions in orthopedic surgery. Until the early 1980s, many cases of meniscal injuries have been treated with total or subtotal meniscectomies. Even today, in some patients total meniscectomy must be performed, mostly because of traumatic meniscus lesions. Studies showed that in these cases, the development of early unicompartmental osteoarthritis has an unfavorable prognosis. Meniscus transplantation is considered as a promising option to treat young, symptomatic patients with arthritis and pain in the affected meniscal-deficient compartment.

Since the first meniscus transplantations in the early 80s, meniscus replacement has been a field of constant research. Studies indicate that an anatomically exact tibial fixation on the original insertion area of the meniscus is essential to restore the biomechanical functions of the knee joint and to protect the transplant as well as joint cartilage. Therefore many authors prefer surgical techniques using cylindrical bone plugs to fix the donor meniscus in tibial tunnels, drilled on the original meniscus insertion. The intraoperative determination of the exact meniscus insertion has proved to be extremely difficult.

The purpose of this investigation was to determine if lateral meniscus insertions (anterior and posterior horn) can precisely and reproducibly be determined on preoperative radiographs. Bony landmarks and their topographic relations to the meniscus insertions were described, measured and statistically evaluated.

We concentrated on the lateral meniscus because there is evidence that meniscus transplantation performs better in the lateral compartment.

We prepared the lateral meniscus insertions in 22 tibial plateaus from 11 body donors. Insertion site outline was performed on anterior and posterior horns with radio opaque 1.6 mm steal balls. Standardized anteroposterior and lateral radiographs were performed. On these radiographs, different distances of the tibial plateaus and their structures were measured (width, depth, distance from lateral tibia border to meniscus midpoint, distance from lateral tibia border to lateral tibial spine). These measures were statistically evaluated and percent values for meniscus midpoint position were determined.

On anteroposterior radiographs, from lateral to medial, the anterior meniscus midpoint was located on  $45.1 \% \pm 1.3 \%$  and the posterior meniscus midpoint on  $49.8 \% \pm 1.9 \%$  of the tibial width.

On lateral radiographs, from anterior to posterior, the anterior meniscus midpoint was located on  $41.9 \% \pm 3.2 \%$  and the posterior meniscus midpoint on  $72.1 \% \pm 2.3 \%$  of the tibial depth.

With linear regression analysis, we could show that the lateral meniscus insertions and the dimensions of the tibia plateau have constant relations, as well as the meniscus insertions and the lateral tibial spine. Inter- and intra-observer analysis showed a high reproducibility of these data.

In conclusion, we think that it is possible to determine precisely and reproducibly on preoperative anteroposterior and lateral radiographs the insertions of the lateral meniscus.

Our results and the method to determine preoperatively meniscus insertions might bring decisive advantages considering the optimal fixation of meniscus transplants, enhancing biomechanical conditions and possibly improving postoperative results.

## **1.2 Zusammenfassung**

Chirurgische Eingriffe am Meniskus gehören zu den häufigsten operativen Interventionen in der modernen Orthopädie. Bis Anfang der 1980er Jahre wurden in vielen Fällen von Meniskusläsionen fast ausschließlich totale oder subtotale Meniskektomien durchgeführt. Seit der Einführung der arthroskopischen Verfahren wird das Meniskusgewebe sparsamer entfernt und Meniskusrisse können bei geeigneten Läsionen genäht werden. In manchen Fällen kommt es aber dennoch zum kompletten Meniskusverlust. Bei solchen Patienten kann es zur frühzeitigen Entwicklung einer unikompartimentellen Arthrose kommen. Bei jungen, aktiven Patienten wurde deshalb der Ersatz des verlorenen Gewebes erwogen.

Erste Meniskustransplantationen wurden Anfang der 1980er Jahre durchgeführt. Biomechanische Studien haben gezeigt, daß eine exakte anatomische Fixation an der ursprünglichen Insertionsstelle erforderlich ist, um die Biomechanik des Kniegelenks zu erhalten. Intraoperativ gestaltet sich die Insertion des Meniskustransplantates an den anatomischen Insertionsarealen als schwierig. Bei einigen Operationstechniken ist die exakte anatomische Wiederherstellung des Meniskus von eher untergeordneter Bedeutung.

In Anlehnung an die Bestimmung der anatomischen Insertionsareale bei der vorderen Kreuzbandplastik war das Ziel unserer Studie herauszufinden, ob auf präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen die Ansatzstellen von Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus genau zu lokalisieren sind. Außerdem wurde nach knöchernen Landmarken gesucht, zu denen die Ansatzpunkte in einem festen topographischen Bezug stehen.

Wir haben unsere Untersuchung auf die Außenmeniskusansätze beschränkt, weil es Hinweise dafür gibt, Meniskustransplantationen bevorzugt im lateralen Kompartiment durchzuführen.



Bei 22 Tibiaköpfen von 11 Körperspendern wurden die Insertionsareale von Außenmeniskusvorder- und -hinterhorn abpräpariert und an ihrem Rand mit Stahlkugeln von 1,6 mm Durchmesser markiert. Dann wurden mit einem Bildwandler standardisierte Röntgenaufnahmen im a.p.- und im s.-Strahlengang angefertigt. Auf diesen Aufnahmen wurden die Tibiaköpfe vermessen (Breite, Tiefe und Distanz vom äusseren Tibiarand zur Mitte des Meniskusansatzes). Bestimmt wurde das Verhältnis zwischen Meniskusansatzmitte und Breite, bzw. Tiefe des Tibiaplateaus.

Für das **Vorderhorn** des Außenmeniskus ergaben sich folgende Daten:

Der Ansatzmittelpunkt lag in der Frontalebene, von der lateralen Begrenzung ausgehend, bei **45,1 ± 1,3 %** des Tibiaplateaus.

Der Ansatzmittelpunkt lag in der Sagittalebene, von der vorderen Begrenzung ausgehend, bei **41,9 % ± 3,2 %** des Tibiaplateaus.

Der Ansatzmittelpunkt des **Hinterhornes** lag in der Frontalebene bei **49,8 % ± 1,9 %**, in der Sagittalebene bei **72,1 % ± 2,3 %** des Tibiaplateaus.

Die Studie zeigte, daß eine röntgenologische Bestimmung der Ansätze von Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit vorgenommen werden kann.

Die statistische Auswertung zeigte, daß eine konstante topographische Beziehung der Meniskusansätze zu einer knöchernen Landmarke, dem Tuberculum intercondylare laterale, besteht. Das Tuberculum fand sich in der Frontalebene, von lateral ausgehend, bei **44,4 ± 2,3 %** des Tibiaplateaus, in der Sagittalebene, von vorne ausgehend, bei **62,6 ± 3,7 %** des Tibiaplateaus.

Diese Resultate und die aus ihnen abgeleitete Methode zur Bestimmung der Insertionsareale ermöglicht eine einfache prä- und intraoperative Darstellung der Meniskusinsertionen, und erlaubt eine erhöhte Präzision bei der anatomischen Rekonstruktion der Außenmeniskustransplantation.

## **2. Einleitung**

Chirurgische Eingriffe am Meniskus zählen zu den häufigsten operativen Verfahren in der Orthopädie. Noch bis zu Beginn der 80er Jahre galt die von CAVE (1947) beschriebene radikale offene Meniskektomie als Standardeingriff in der orthopädisch-traumatologischen Chirurgie.

KING (1936) und FAIRBANK (1948) wiesen bereits in den 1930er und 1940er Jahren auf eine erhöhte Arthroserate nach totaler oder subtotaler Meniskektomie hin. Das Problem wurde jedoch erst in den 1970er und 1980er Jahren weltweit erkannt (JACKSON, 1968; TAPPER, 1969; APPEL, 1970; JOHNSON, 1974; COX, 1975; DANDY, 1975; JONES, 1978; YOCUM, 1979; ALLEN, 1984; FERKEL, 1985; JORGENSEN, 1987).

Die Entwicklungen und Fortschritte der arthroskopischen Chirurgie haben dazu geführt, daß die meisten Meniskuläsionen durch resezierende, gewebeschonendere Eingriffe behandelt werden können (DANDY, 1978; BERGSTROM 1984; ROCKBORN, 2000; HULET, 2001; ANDERSSON, 2002).

Es gibt aber Fälle, in denen ein Meniskus total oder subtotal entfernt werden muß. Hierbei handelt es sich meist um traumatisch bedingte Meniskusverluste bei jungen, aktiven Patienten (ANDRISH, 1996; AGLIETTI, 1999; HOWELL, 2000; GREIS, 2002; DAVIDSON, 2003; OGUT, 2003).

Es hat sich gezeigt, daß in diesen Fällen die Entwicklung einer unikompartimentellen, symptomatischen Früharthrose sehr schnell voranschreitet (JACKSON, 1968; TAPPER, 1969; KRAUSE, 1976; SCHREIBER, 1979; NOBLE, 1980; LOTKE, 1981; BURR, 1982; ALLEN, 1984; COVALL, 1992; WROBLE, 1992; BOSZOTTA, 1994; LECUMBERRI, 1997; BARKER, 1998; JOHNSON, 2000; MCNICHOLAS, 2000; ENGLUND, 2001; MIZUTA, 2001; SCHELLER, 2001; ANDERSSON, 2002;

BONNEUX, 2002; MENETREY, 2002; AYRAL, 2003; CHATAIN, 2003; ENGLUND, 2003).

Die Frage nach dem Ersatz des verlorenen Gewebes drängte sich somit auf. In den 1980er Jahren wurde in Deutschland die erste Meniskustransplantation durchgeführt (WIRTH, 1984). Seither wurden zahlreiche Studien zu diesem Thema publiziert (CANHAM, 1986; WIRTH, 1986; MILACHOWSKI, 1987; WIRTH, 1987; MILACHOWSKI, 1989; ARNO CZKY, 1990; MILACHOWSKI, 1990; MILACHOWSKI, 1990; GARRETT, 1991; ARNO CZKY, 1992; JACKSON, 1992; KOHN, 1992; JACKSON, 1993; KOHN, 1993; MIKIC, 1993; KOHN, 1994; MESSNER, 1994; MILACHOWSKI, 1994; VELTRI, 1994; VERDONK, 1994; VAN ARKEL, 1995; KUHN, 1996; STONE, 1996; WILCOX, 1996; CAMERON, 1997; CUMMINS, 1997; HAMLET, 1997; IBARRA, 1997; KOHN, 1997; MIKIC, 1997; BRUNS, 1998; AAGAARD, 1999; GOBLE, 1999; GOBLE, 1999; KOHN, 1999; KOHN, 1999; KOHN, 1999; KROGSGAARD, 1999; MENETREY, 1999; VERDONK, 1999; DEBEER, 2000; JOHNSON, 2000; RODEO, 2000; STOLLSTEIMER, 2000; SZOMOR, 2000; RODEO, 2001; WIRTH, 2002; COLE, 2004).

Leichenstudien haben gezeigt, daß eine exakte anatomische Fixation der Insertionsareale an Vorder- und Hinterhorn unerläßlich ist zur Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik (CHEN, 1996). Bei Desinsertion der knöchernen Fixation von Vorder- und Hinterhorn kommt es zu einer Verringerung der meniskofemorale Kontaktzone um 50 % und zu einer Erhöhung der femoro-tibialen Druckspannungen um 200-300 % im betroffenen Kompartiment (PALETTA, 1997). LAZOVIC ET AL. haben gezeigt, daß bereits Abweichungen in der Größenordnung von 8-10 mm vom ursprünglichen Insertionsareal ausreichend sind, um das Meniskustransplantat entscheidend zu schädigen (LAZOVIC, 1997).

Die Hauptindikation für den Ersatz eines fehlenden Meniskus ist die symptomatische, das laterale Kompartiment betreffende Früharthrose (SEIL, 2002). Im Gegensatz zur

medialen Gonarthrose, bei der man mit der valgisierenden Tibiakopfumstellungsosteotomie eine mittel- bis langfristige Beschwerdebesserung erzielen kann, versprechen varisierende Eingriffe bei der unikompartimentellen lateralen Gonarthrose langfristig weniger erfolgreich zu sein. Auch konnte bereits gezeigt werden, daß laterale Meniskustransplantate eine höhere "Überlebensrate" haben als mediale Transplantate (VAN ARKEL, 1995). Aus diesen beiden Gründen beschränkten wir unsere Untersuchungen auf den lateralen Meniskus.

## **Zielsetzung der Studie**

1. Lokalisation der tibialen Ansatzareale des Außenmeniskusvorder- und -hinterhorns auf standardisierten Röntgenaufnahmen.
2. Bestimmung der Verhältnisse zwischen oben genannten Ansatzarealen und leicht definierbaren knöchernen Landmarken auf Röntgenaufnahmen.
3. Ableiten einer Methode zur präoperativen röntgenologischen Bestimmung der Lokalisation der Ansatzareale des Außenmeniskus.

Ziel ist es, eine einfache Methode zur Bestimmung der Meniskusansatzareale auf präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen zu entwickeln, basierend auf den Resultaten der unter 1. genannten Untersuchungen. Diese Methode soll dem Operateur eine präzise Bestimmung der Insertionsareale des Außenmeniskus ermöglichen. Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit der Methode sollen anhand der Intra- und Interuntersuchervarianz bestimmt werden.

### **3. Material und Methode**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Einzelkomponenten**

###### **3.1.1.1 Tibiaköpfe**

Die Entnahme der Tibiaköpfe erfolgte an den Leichen von 11 Körperspendern im Anatomischen Institut der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar. Es standen somit 22 Präparate für die Untersuchung zur Verfügung.

Bei den Körperspendern handelte es sich um 8 Frauen und 3 Männer mit einem Sterbealter zwischen 50 und 91 Jahren. Das mittlere Sterbealter betrug 71 Jahre (Median: 72 Jahre).

Die Körper waren bei der Entnahme in dorsaler Position gelagert.

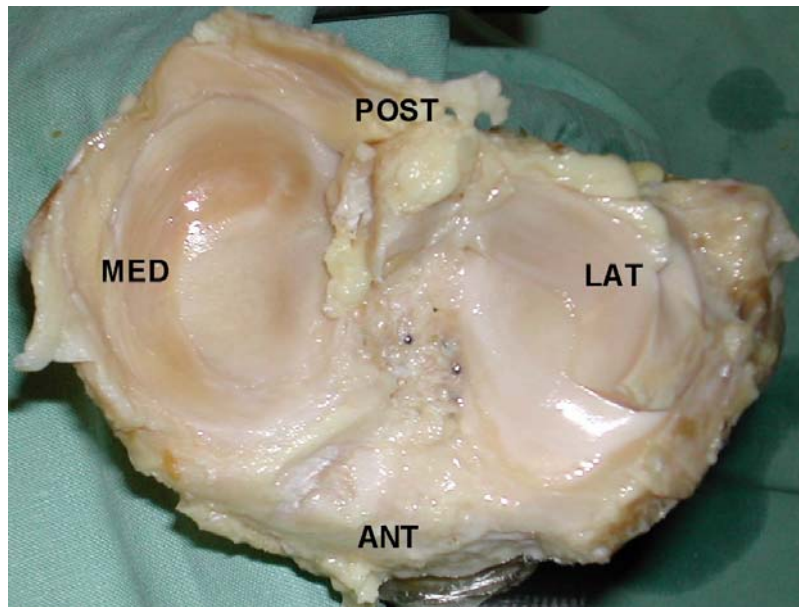
Es wurde in der anatomischen Längsachse des Beines ein Hautschnitt von 20 cm oberhalb bis 20 cm unterhalb des Kniegelenks durchgeführt. In Höhe des Gelenkspaltes wurde der Schnitt zirkulär erweitert. Haut- und Fettgewebe in dieser Region wurden abpräpariert. Das Ligamentum patellae wurde an seinem Ansatz an der Tuberositas tibiae abgelöst. Die Retinacula patellae laterale und mediale wurden durchtrennt. Medial wurden die Sehnen der Musculi sartorius, gracilis und semitendinosus, sowie das Ligamentum collaterale tibiale durchtrennt. Lateral wurden der Tractus iliotibialis, die Sehnen der Musculi biceps femoris und popliteus, sowie das Ligamentum collaterale fibulare durchtrennt. Die so präparierten Strukturen wurden entfernt und die Capsula articularis wurde in ihrer Zirkumferenz eröffnet. Unter Sicht wurden das vordere und das hintere Kreuzband an ihren femoralen Ansatzstellen abgelöst. Nach der Durchtrennung der zwei Bäuche des Musculus gastrocnemius und des Musculus plantaris, der Sehne des Musculus semimembranosus, sowie der Arteria und Vena poplitea und der Nervi tibialis und fibularis communis, konnte die Tibia aus ihrer gelenkigen Verbindung zum Femur

gelöst werden. Am Tibiaknochen wurden dann die Musculi tibialis anterior, peroneus longus, extensor digitorum longus, sowie die Musculi gastrocnemius und soleus abgelöst.

Auf einer Distanz von ungefähr 15 cm distal des Tibiaplateaus wurden schließlich die Osteotomien von Tibia und Fibula vorgenommen und der Tibiakopf konnte entnommen werden (Abb. 1 und 2).

Der Zustand des Gelenkknorpels wurde nach der **Einteilung der Knorpeldegeneration nach Jackson et al. (1992)** beurteilt. Folgende Kriterien wurden hierbei zur Gradeinteilung herangezogen:

- Grad 0:** keine beobachtbaren Veränderungen
- Grad I:** intakte Oberfläche mit Farbveränderungen oder Oberflächenunregelmäßigkeiten
- Grad II:** Oberflächenfibrillation oder Knorpelverlust ohne Knochenfreilegung
- Grad III:** Knochenfreilegung weniger als 10 % der untersuchten Region
- Grad IV:** Knochenfreilegung mehr als 10 % der untersuchten Region



**Abb. 1:** Sicht von oben auf ein linkes Tibiaplateau. Bei diesem Präparat wurde das Vorderhorn bereits an seinem Ansatz abpräpariert und die Insertionsstelle mit Stahlkugeln markiert.



**Abb. 2:** Sicht von vorne auf einen linken Tibiakopf.



### 3.1.1.2 Präparationsinstrumente

Zur Präparation wurden folgende Instrumente benötigt: ein Schraubstock zum Fixieren der Tibiaköpfe, anatomische und chirurgische Pinzetten, ein Skalpellhalter mit 21er Klinge und eine Dissektionsschere für die Präparation, ein Hammer und Kirschner-Drähte unterschiedlicher Stärken zum Einbringen der Löcher für die Stahlkugeln, schließlich Stahlkugeln mit einem Durchmesser von 1,6 mm zum Markieren der Ansatzstelle (Abb. 3).



**Abb. 3:** Präparationsinstrumente. Von links nach rechts: 1. Flachmeißel, 2. Skalpell, 3. Bohrer, 4. chirurgische und anatomische Pinzetten, 5. Kirschner-Drähte, 6. Hammer. 7. Skalpellklingen, 8. Stahlkugeln.

### 3.1.1.3 Bildwandler

Hersteller: GE OEC Medical Systems, Inc., Salt Lake City, USA

Typ: 9800 C-Arm (Abb. 4)

Verkleinerungsfaktor: 1,47



**Abb. 4:** Arbeitsplatz mit Bildwandler.

#### 3.1.1.4 Holzschiene

Zur Standardisierung der Röntgenaufnahmen im a.p.- und s.-Strahlengang wurde eine spezielle Halterungstechnik entworfen. Sie bestand aus zwei im rechten Winkel zusammengeklebten Brettern (Abb. 5). Die Fixation der Tibiaköpfe mittels Gummibändern in dieser Holzschiene ermöglichte so eine reproduzierbare Röntgenuntersuchung in 2 Ebenen. Die identischen "knöchernen" Auflageflächen (Tibiakopf medial, Fibulaköpfchen lateral) ermöglichten eine bestmögliche Reproduzierbarkeit und Standardisierung der Röntgenaufnahmen.



**Abb. 5:** Holzschiene mit Gummibändern zur Fixierung des Tibiakopfes.

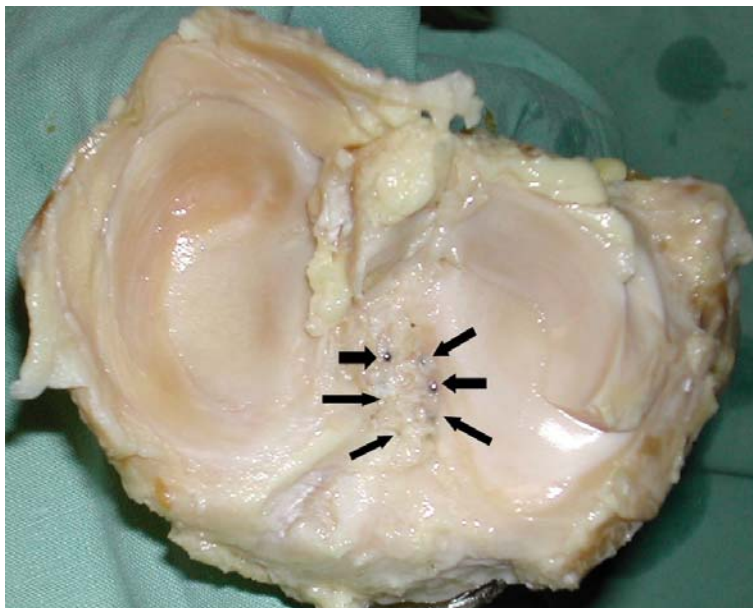
## **3.2 Methode**

### **3.2.1 Präparation und Anfertigung der Röntgenaufnahmen**

#### **3.2.1.1 Präparation der Insertionsareale**

Die Tibiaköpfe wurden in vertikaler Position in einen Schraubstock eingespannt. Die Reste der Kapsel, sowie Weichteilreste an der Hinterfläche der Tibia, wurden wegpräpariert. Um eine optimale Differenzierung der Meniskusinsertionen zu ermöglichen, wurden das vordere und das hintere Kreuzband an ihren jeweiligen Ansatzflächen abpräpariert. Der Außenmeniskus wurde in der Hälfte seiner Zirkumferenz durchtrennt, damit er bei der Präparation besser manipuliert werden konnte. Dann wurde das Vorderhorn an seiner Insertionsfläche, unter Zugspannung, mit einer scharfen Skalpellklinge abgelöst. Unter Zuhilfenahme von Kirschnerdrähten wurden an den Rändern des Meniskusansatzes radiär kleine Löcher gebohrt. In diese Löcher wurden dann Stahlkugeln von 1,6 mm Durchmesser eingebracht (Abb. 6).

Die an den Vorderhörnern des Außenmeniskus präparierten Tibiaköpfe wurden geröntgt. Anschließend wurden die Kugeln entfernt und die gleichen Präparationsschritte beim Hinterhorn des Außenmeniskus wiederholt.



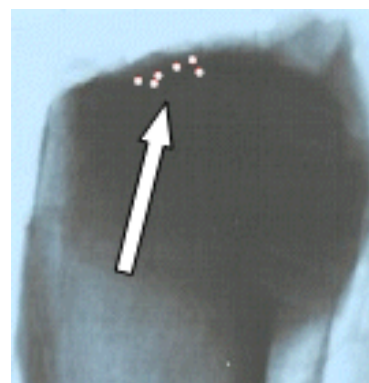
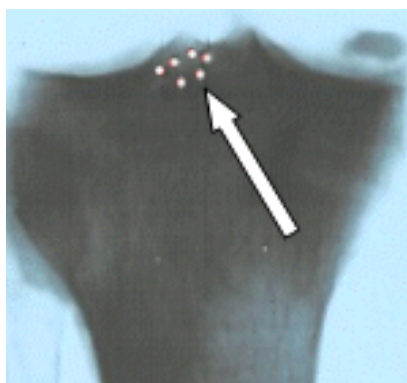
**Abb. 6:** Sicht auf ein linkes Tibiaplateau. Der Außenmeniskusvorderhornansatz wurde abpräpariert und mit Stahlkugeln markiert. Die Pfeile zeigen die Position einiger Kugeln an.

### 3.2.1.2 Röntgenaufnahmen

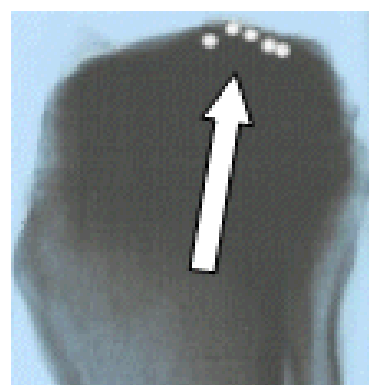
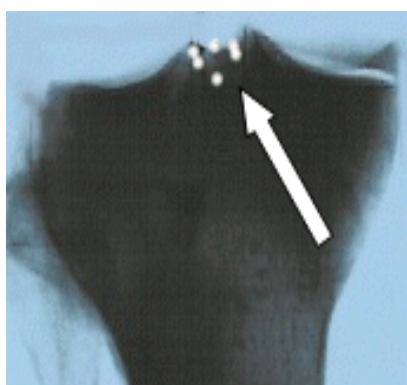
Der präparierte Tibiakopf wurde in die unter 3.1.1.4 beschriebene Holzschiene eingespannt und auf dem Bildwandler (Abb. 4) positioniert.

Zuerst wurde eine a.p.-Aufnahme angefertigt und auf transparentem Thermopapier ausgedruckt (Abb. 7), dann wurde der Tibiakopf in die seitliche Position gebracht und ebenfalls geröntgt (Abb. 8).

Zuerst wurden die Vorderhörner des Außenmeniskus präpariert und geröntgt, im Anschluß daran die Hinterhörner (Abb. 9 und 10).



**Abb. 7 und 8:** a.p.- und s.-Aufnahme eines Tibiakopfes mit markierter Ansatzstelle des Außenmeniskusvorderhorns. Die weißen Punkte (Pfeile) kennzeichnen die Stahlkugeln.



**Abb. 9 und 10:** a.p.- und s.-Aufnahme eines Tibiakopfes mit markierter Ansatzstelle des Außenmeniskushinterhorns. Die weißen Punkte (Pfeile) kennzeichnen die Stahlkugeln.

### **3.2.2 Vermessung der Röntgenaufnahmen**

Die Tibiaköpfe wurden auf den angefertigten Aufnahmen nach der unter 3.2.2.2 und 3.2.2.3 beschriebenen Methode vermessen. Die gemessenen Werte wurden in Excel-Tabellen eingegeben.

Die Methode zur Vermessung der Röntgenaufnahmen war die gleiche für das Vorderhorn und das Hinterhorn. Aus diesem Grund wird die Vorgehensweise exemplarisch für die Vermessung des Vorderhorns beschrieben.

#### **3.2.2.1 Bestimmung von knöchernen Landmarken**

Bevor die Vermessung der Röntgenaufnahmen stattfinden konnte, mussten knöcherne Landmarken am Tibiakopf definiert werden, um als Orientierungs- und Referenzpunkte zu dienen.

In den a.p.-Aufnahmen waren dies der laterale und mediale metaphysäre Rand des Tibiaplateaus, sowie das Tuberculum intercondylare laterale, das in enger topographischer Beziehung zu den Ansätzen des Außenmeniskus steht.

In den s.-Aufnahmen wurden die Tuberositas tibiae, das Tuberculum intercondylare laterale (TIL) und der posteriore tibiale Grat („ridge“) am Übergang der Area intercondylaris posterior in den Tibiaschaft als Landmarken definiert.

### 3.2.2.2 Bestimmung der Mitte der Außenmeniskusansätze und der Position des TIL in den a.p.-Aufnahmen

Auf den Bildern im anteroposterioren Strahlengang (Abb. 11 und 12) wurden zwei parallel verlaufende Tangenten (A und B) zum äußeren und inneren Rand des Tibiaplateaus eingezeichnet. Die orthogonal zu diesen Linien eingezeichnete Linie C verläuft tangential zur Spitze des Tuberculum intercondylare laterale (T). Die Schnittstellen dieser Linien wurden mit a und b bezeichnet.

Vom lateralen Rand (a) des Tibiaplateaus ausgehend wurden folgende Distanzen bestimmt und in Absolutwerten, bzw. in Relation zur Gesamtbreite (ab) des Tibiaplateaus dargestellt:

**ab:** Breite des Tibiaplateaus, vom Außenrand (a) zum Innenrand (b),

**I:** Distanz vom Außenrand des Tibiaplateaus (a) zum Außenrand des Meniskusansatzes (c),

**II:** Distanz vom Innenrand des Tibiaplateaus (b) zum Innenrand des Meniskusansatzes (d),

**III:** Breite des Meniskusansatzes (Distanz zwischen Außenrand (c) und Innenrand des Meniskusansatzes (d)),

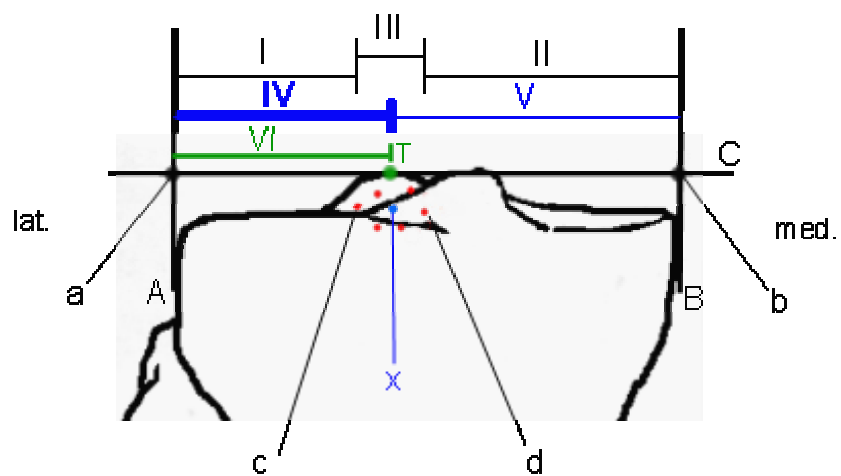
**IV:** Distanz vom Außenrand (a) des Tibiaplateaus zur Mitte des Meniskusansatzes (x), berechnet aus I und III, 
$$\mathbf{IV = I + III/2}$$

**V:** Distanz vom Innenrand (b) des Tibiaplateaus zur Mitte des Meniskusansatzes (x), berechnet aus I und III,

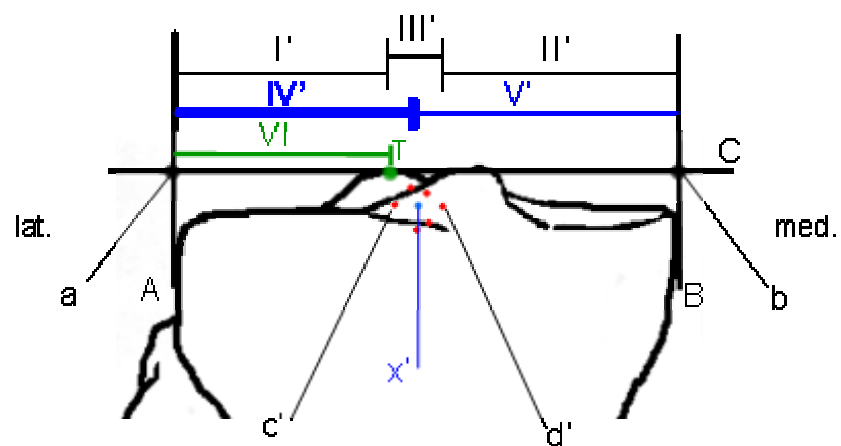
**VI:** Distanz vom Außenrand (a) des Tibiaplateaus zur Spitze des Tuberculum intercondylare laterale (T).

Die gleiche Methode wurde zur Bestimmung der Lokalisation des Hinterhorns verwendet. Referenzpunkte und -linien wurden mit dem (der) gleichen Buchstaben (Zahl) und der Zusatzbezeichnung (') gekennzeichnet (Abb. 12).





**Abb. 11 :** Schematische a.p.-Darstellung eines Tibiakopfes mit Referenzsystem zur Vorderhorn-Bestimmung.



**Abb. 12 :** Schematische a.p.-Darstellung eines Tibiakopfes mit Referenzsystem zur Hinterhorn-Bestimmung.

### 3.2.2.3 Bestimmung der Mitte der Außenmeniskusansätze und der Position des TIL in den s.-Aufnahmen

Die röntgenologische Darstellung des Tibiakopfes im seitlichen Strahlengang erlaubte es nicht, wie auf den a.p.-Aufnahmen, eine reproduzierbare Tangente zur ventralen und dorsalen Begrenzung zu bestimmen. Stattdessen wurde als dorsale Referenz eine Tangente (E) zum Knochengrat („ridge“) am Übergang der Area intercondylaris posterior in den Tibiaschaft eingezeichnet, die parallel zur posterioren Kortikalis verläuft. Die Orthogonale zu dieser Linie (F) tangiert die Spitze des TIL und schneidet die Tangente (D) zur Tuberositas tibiae; dieser Schnittpunkt definiert den vorderen Rand des Tibiaplateaus (Abb. 13 und 14).

Vom vorderen Rand (e) des Tibiaplateaus ausgehend wurden folgende Distanzen bestimmt und in Absolutwerten, bzw. in Relation zur Gesamttiefe (ef) des Tibiaplateaus dargestellt:

**ef:** Tiefe des Tibiaplateaus, vom Vorderrand (d) zum Hinterrand (e),

**VII:** Distanz vom Vorderrand des Tibiaplateaus (e) zum Vorderrand des Meniskusansatzes (g),

**VIII:** Distanz vom Hinterrand des Tibiaplateaus (f) zum Hinterrand des Meniskusansatzes (h),

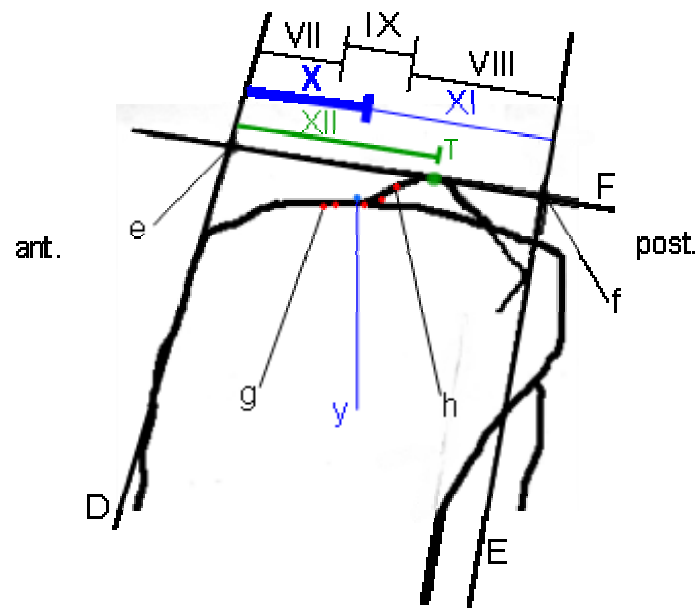
**IX:** Tiefe des Meniskusansatzes, also die Distanz zwischen Vorderrand (g) und Hinterrand des Meniskusansatzes (h),

<p><b>X:</b> Distanz vom Vorderrand (e) des Tibiaplateaus zur Mitte des Meniskusansatzes (y), berechnet aus VII und IX,                      <b>X = VII + IX/2</b></p>
--

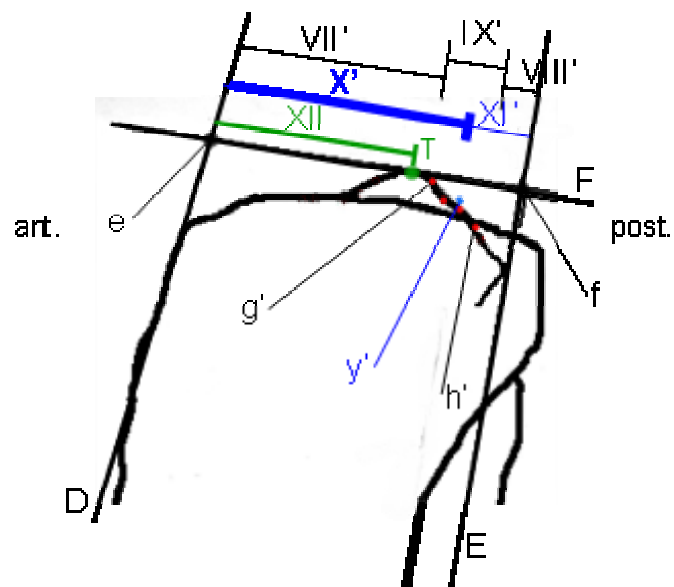
**XI:** Distanz vom Hinterrand (f) des Tibiaplateaus zur Mitte des Meniskusansatzes (y),  
berechnet aus VII und IX,

<p><b>XII:</b> Distanz vom Vorderrand (e) des Tibiaplateaus zur Spitze des Tuberculum intercondylare laterale (T).</p>
--

Die gleiche Methode wurde zur Bestimmung der Lokalisation des Hinterhorns verwendet. Referenzpunkte und -linien wurden mit dem (der) gleichen Buchstaben (Zahl) und der Zusatzbezeichnung (') gekennzeichnet (Abb. 14).



**Abb. 13:** Schematische s.-Darstellung eines Tibiakopfes mit Referenzsystem zur Vorderhorn-Bestimmung.



**Abb. 14:** Schematische s.-Darstellung eines Tibiakopfes mit Referenzsystem zur Hinterhorn-Bestimmung.

### **3.2.3 Auswertung der Röntgenaufnahmen**

#### **3.2.3.1 Datenerfassung**

Die Messungen erfolgten mit einem geometrischen Zeichendreieck; die Messgenauigkeit betrug einen halben Millimeter, d.h. wenn ein Punkt zwischen zwei Millimeterstrichen lag, wurde der Wert auf einen halben Millimeter genau bestimmt. Die so ermittelten Werte wurden in die im Anhang aufgeführten Excel-Tabellen eingetragen.

#### **3.2.3.2 Auswertung der Ergebnisse/Statistik**

Neben diesen ermittelten Werten wurden die Distanzen Außen-/Vorderrand-Meniskusmittelpunkt (IV, IV', X, X') in Relation gesetzt zu Breite/Tiefe des Tibiaplateaus (ab, bzw. ef), um so zu der jeweiligen Position der Meniskusmitte Prozentangaben machen zu können. Ebenso wurde bei der Distanz von Außen-/Vorderrand-Spitze des TIL verfahren: die Distanzen VI und XII wurden in Relation zu Breite und Tiefe (ab, bzw. ef) des Tibiaplateaus gesetzt und Prozentwerte ermittelt. Es wurden Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Minimum und Median der verschiedenen Parameter errechnet.

Anschließend wurde eine statistische Auswertung dieser Werte vorgenommen.

Es wurden von den relativen Werten der Meniskusansätze *Box & Whisker-Plots* (Boxplots) angefertigt. Hierbei handelt es sich um eine Darstellungsform in der deskriptiven Statistik quantitativer Merkmale. Die Kastengrenzen und -teilungslinie markieren das erste und dritte Quartil bzw. den Median. Ausreißer werden definiert als Werte, die um mehr als 1,5 Interquartilspannweiten jenseits des 1. und 3. Quartils liegen. Sie werden einzeln durch Symbole markiert.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe einer Regressionsanalyse im Streudiagramm. Es wurden der Korrelationskoeffizient R, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$ , die Steigung b der Regressionsgeraden und deren p-Wert ermittelt. Ab einem Wert für

$R \geq 0,7$  wird ein relevanter Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen angenommen. Das Signifikanzniveau wurde bei 0,05 festgelegt. Bei einem p-Wert unter diesem Signifikanzniveau wird davon ausgegangen, daß die Gerade eine signifikante Steigung hat ; bei einem p-Wert über 0,05 ist die Steigung als nicht-signifikant zu bewerten.

Verschiedene Werte wurden so in Streudiagrammen gegeneinander aufgetragen und einer Regressionsanalyse unterzogen. IV (bzw. IV') und X (bzw. X') wurden auf die y-Achse aufgetragen, die Breite (bzw. Tiefe) ab (bzw. ef) des Tibiaplateaus auf die x-Achse; anschließend wurde mit den entsprechenden relativen Werten IV/ab, IV'/ab, X/ef und X'/ef genauso verfahren. Dieselbe Methode wurde bei der Auswertung der Beziehungen zwischen dem TIL, der Tibia und den Meniskusmittelpunkten angewandt.

### 3.2.3.3 Bestimmung des Methodenfehlers

Um eine Aussage über die Genauigkeit der gemessenen Werte machen zu können (Intrauntersuchervarianz) wurden die Röntgenaufnahmen einen Monat nach der ersten Messung ein zweites Mal ausgewertet. Mit Hilfe der **Formel nach Dahlberg (1940)** wurde der Methodenfehler (MF) ermittelt.

$$MF = \sqrt{\sum d^2 / 2n}$$

d=Differenz zwischen den Doppelmessungen

n=Anzahl der untersuchten Objekte

### 3.2.3.4 Methode zur Bestimmung der Mitte des Meniskusansatzes

Um die Reproduzierbarkeit der ermittelten Relativwerte zu überprüfen wurden nicht-markierte Röntgenaufnahmen von 10 Präparaten von zwei unabhängigen Untersuchern ausgewertet. Bestimmt werden sollte der Meniskusmittelpunkt in den a.p.- und s.-Aufnahmen mit Hilfe der unter 3.2.2.1 und 3.2.2.2 beschriebenen

Methode und den ermittelten Prozentwerten für Vorderhorn und Hinterhorn des Außenmeniskus.

Die Vorgaben waren Einzeichnen der Referenzlinien, Messung der Breite/Tiefe des Tibiaplateaus, Berechnen des Meniskusmittelpunktes mit Hilfe der Prozentangaben, Einzeichnen dieses Punktes. Verglichen wurde die Lokalisation dieses Punktes mit der von uns ermittelten Position auf den markierten Aufnahmen.

Der Methodenfehler (Interuntersuchervarianz) wurde auch in dieser Auswertung mit der Dahlberg-Formel (cf. 3.2.3.3) bestimmt.

#### 3.2.3.5 Anwendung

Als Aussicht auf eine praktische Anwendung unserer Ergebnisse wurde bestimmt, wie präzise letztendlich die Bohrung tibialer Kanäle möglich ist. Mithilfe unserer Methode planten wir eine Bohrung von 9 mm-Kanälen auf unmarkierten Bildern von bereits vermessenen Tibiaköpfen unter Zuhilfenahme der bekannten anatomischen Meniskusmittelpunkte, anschließend wurde eine Planung mit den aus unseren Daten bekannten Meniskusmittelpunkten auf denselben Bildern vorgenommen. Schließlich wurde aus diesen Planungsunterlagen die Übereinstimmung zwischen den virtuellen tibialen Bohrkanälen ermittelt.

## 4. Ergebnisse

Bei der Auswertung des Grades der Knorpeldegeneration nach Jackson et al. fanden sich folgende Ergebnisse :

<b>Grad 0:</b>	<b>8 Präparate</b>
<b>Grad I:</b>	<b>9 Präparate</b>
<b>Grad II:</b>	<b>3 Präparate</b>
<b>Grad III:</b>	<b>0 Präparate</b>
<b>Grad IV:</b>	<b>2 Präparate</b>

### 4.1 Positionen der Meniskusansatzstellen

#### Absolute Werte für die Meniskusansatzstellen

Tabellarische Zusammenfassung der ermittelten Absolutwerte aus den Tibia- und Meniskusansatzvermessungen (Tabelle 1).

(Abb. 11 und 12 S. 25, Abb. 13 und 14 S. 27).

	<b>Mittelwert</b>	<b>Stan.Dev.</b>	<b>Maximum</b>	<b>Minimum</b>
<b>Tibiabreite: ab (mm)</b>	<i>49.20</i>	<i>3.38</i>	<i>54.00</i>	<i>44.00</i>
<b>Tibiatiefe: ef (mm)</b>	<i>31.43</i>	<i>2.53</i>	<i>36.00</i>	<i>28.00</i>
<b>IV (AMVH) (mm)</b>	<i>22.18</i>	<i>1.55</i>	<i>24.25</i>	<i>19.50</i>
<b>X (AMVH) (mm)</b>	<i>13.16</i>	<i>1.35</i>	<i>15.50</i>	<i>10.00</i>
<b>IV' (AMHH) (mm)</b>	<i>24.53</i>	<i>1.97</i>	<i>28.75</i>	<i>21.25</i>
<b>X' (AMHH) (mm)</b>	<i>22.68</i>	<i>2.05</i>	<i>27.00</i>	<i>20.00</i>

**Tabelle 1 :** Positionen der Meniskusansatzstellen : Angabe der absoluten Werte in mm.

### **Relative Werte für die Meniskusansatzstellen**

Tabellarische Zusammenfassung der errechneten Relativwerte aus den Tibia- und Meniskusansatzvermessungen (Tabelle 2). Wie man den Ergebnissen entnehmen kann, ist die Standardabweichung bei allen 4 Positionen gering, wobei für die seitlichen Relativwerte höhere Standardabweichungen ermittelt wurden.

(Abb. 11 und 12 S. 25, Abb. 13 und 14 S. 27).

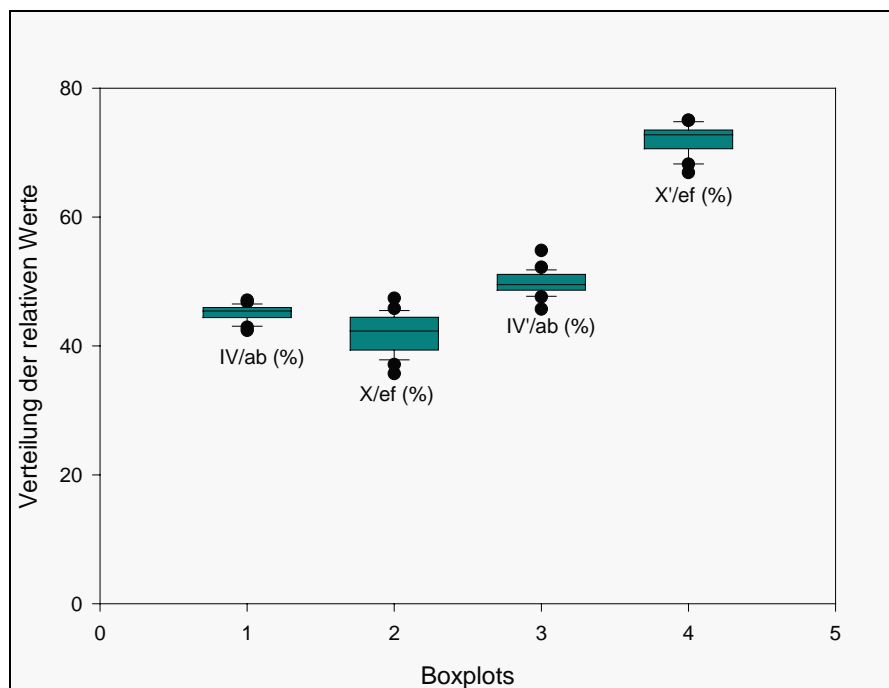
	<b>Mittelwert</b>	<b>Stan.Dev.</b>	<b>Maximum</b>	<b>Minimum</b>
<b>IV/ab (AMVH) (%)</b>	<i>45.10</i>	<i>1.30</i>	<i>47.10</i>	<i>42.40</i>
<b>X/ef (AMVH) (%)</b>	<i>41.90</i>	<i>3.20</i>	<i>47.40</i>	<i>35.70</i>
<b>IV'/ab (AMHH) (%)</b>	<i>49.80</i>	<i>1.90</i>	<i>54.80</i>	<i>45.70</i>
<b>X'/ef (AMHH) (%)</b>	<i>72.10</i>	<i>2.30</i>	<i>75.00</i>	<i>66.90</i>

**Tabelle 2 :** Positionen der Meniskusansatzstellen : relative Werte.

### **Verteilung der relativen Werte : Box & Whisker-Plots**

Die Verteilung der Relativwerte für die Mittelpunkte der Meniskusinsertionen wurde mit Hilfe von Box & Whisker-Plots graphisch dargestellt (Abb. 15). Bei der Verteilung der Relativwerte der 4 Positionen gibt es jeweils einen Ausreißerwert über bzw. unter den 1,5 Interquartilsspanweiten. Für eine gleichmäßige Verteilung und geringe Streuung der Relativwerte spricht die geringe Distanz zwischen dem 1. und 3. Quartil der Verteilung, sowie die mittige Lage der Medianlinie in den Kästen. Aus den Boxplot-Darstellungen geht, wie bereits bei der Beurteilung der Standardabweichungen festgestellt, ebenfalls die größere Streuweite der seitlichen Relativwerte hervor.





**Abb. 15 :** Graphische Darstellung der Verteilung der relativen Werte für die Mittelpunkte der Meniskusinsertionen.

## **4.2 Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau**

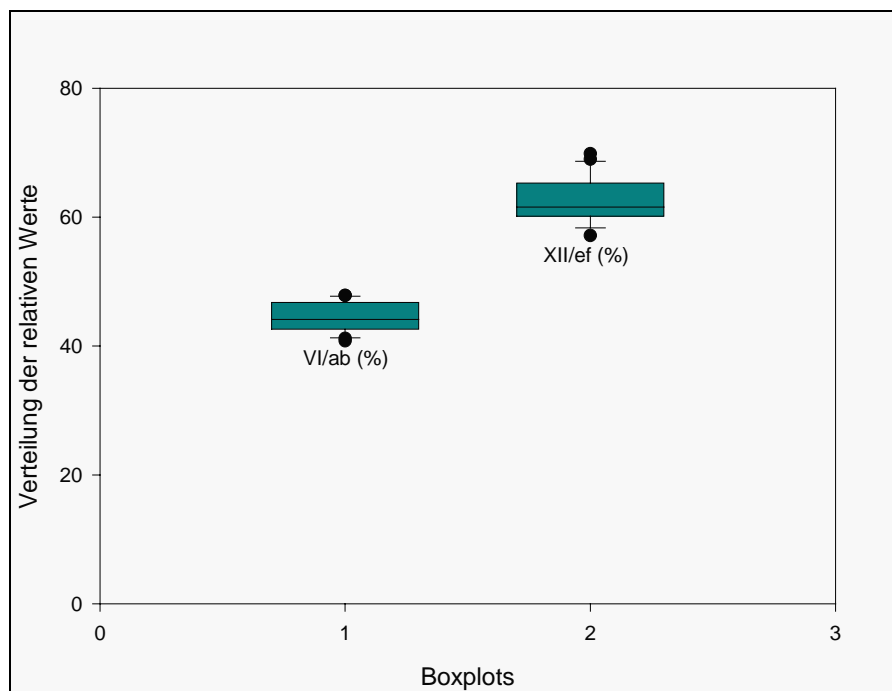
Tabellarische Zusammenfassung der ermittelten Absolut- und Relativwerte aus den Vermessungen von Tibia und TIL (Tabelle 3). Die Standardabweichung der Relativwerte ist gering und liegt im Bereich der Standardabweichungen der Relativwerte der Meniskusansatzmittelpunkte.

(Abb. 11 und 12 S. 25, Abb. 13 und 14 S. 27).

	<b>Mittelwert</b>	<b>Stan.Dev.</b>	<b>Maximum</b>	<b>Minimum</b>
<b>VI (mm)</b>	<i>21.85</i>	<i>1.76</i>	<i>25.50</i>	<i>18.50</i>
<b>XII (mm)</b>	<i>19.63</i>	<i>1.50</i>	<i>22.00</i>	<i>16.00</i>
<b>VI/ab (%)</b>	<i>44.40</i>	<i>2.30</i>	<i>47.80</i>	<i>40.80</i>
<b>XII/ef (%)</b>	<i>62.60</i>	<i>3.70</i>	<i>69.80</i>	<i>57.10</i>

**Table 3:** Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau.

Darstellung der Verteilung der Relativwerte in Box & Whisker-Plots (Abb.16). Die Distanz zwischen dem 1. und 3. Quartil der Verteilung ist gering, die Medianlinie liegt mittig, was auch bei den Relativwerten der Tuberculum-Positionen für eine gleichmäßige Verteilung mit geringer Streuung spricht.



**Abb. 16:** Graphische Darstellung der Verteilung der relativen Werte für das TIL.

### **4.3 Positionen der Meniskusansatzstellen in Bezug zum TIL**

Die Bestimmung der Positionen der Meniskusmittelpunkte in Bezug zum lateralen Tuberculum ergab folgende Resultate (Tabelle 4):

	<b>Mittelwert</b>	<b>Stan.Dev.</b>	<b>Maximum</b>	<b>Minimum</b>
<b>IV/VI (%) (AMVH)</b>	<i>101.70</i>	<i>5.50</i>	<i>114.30</i>	<i>94.30</i>
<b>X/XII (%) (AMVH)</b>	<i>64.30</i>	<i>2.90</i>	<i>70.00</i>	<i>57.50</i>
<b>IV'/VI (%) (AMHH)</b>	<i>112.30</i>	<i>7.70</i>	<i>123.80</i>	<i>102.20</i>
<b>X'/XII (%) (AMHH)</b>	<i>112.20</i>	<i>7.00</i>	<i>128.60</i>	<i>102.60</i>

**Tabelle 4:** Positionen der Meniskusansatzstellen in Bezug zum TIL.

Die Distanz vom Außenrand der Tibia zum Meniskusmittelpunkt wurde jeweils durch die Distanz vom Außenrand zum Tuberculum geteilt. Dementsprechend liegt das laterale Tuberculum bei 100 %.

Betrachtet man die Variationsspannen der Daten stellt man fest, daß in den a.p.-Aufnahmen das Vorderhorn sowohl lateral als auch medial des Tuberculum liegen kann (Tabelle 5). In den s.-Aufnahmen jedoch liegt das Vorderhorn immer davor. Das Hinterhorn liegt in den a.p.-Aufnahmen immer medial des Tuberculum, in den s.-Aufnahmen immer dahinter. Diese Meßergebnisse decken sich mit unseren makroskopisch-anatomischen Beobachtungen.

	<b>Laterale Lage MM</b>	<b>Mediale Lage MM</b>
<b>IV/VI (%) (AMVH)</b>	<i>9</i>	<i>11</i>
<b>IV'/VI (%) (AMHH)</b>	<i>0</i>	<i>20</i>
	<b>Ventrale Lage MM</b>	<b>Dorsale Lage MM</b>
<b>X/XII (%) (AMVH)</b>	<i>20</i>	<i>0</i>
<b>X'/XII (%) (AMHH)</b>	<i>0</i>	<i>20</i>

**Tabelle 5:** Häufigkeit der Verteilung der Meniskusansatzstellen in Bezug zum TIL.

## 4.4 Deskriptive Statistik der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Strukturen des Tibiaplateaus

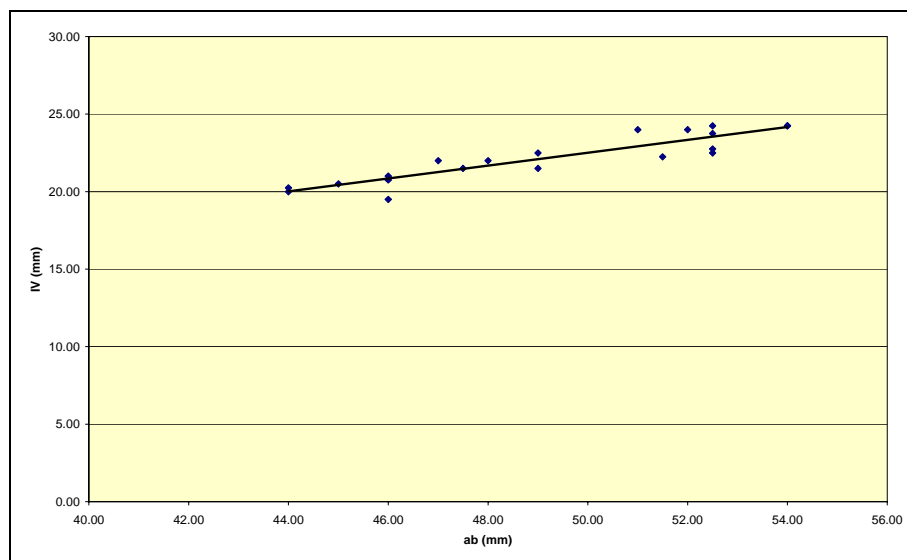
Folgende Auswertungen wurden mit 22 und mit 20 Präparaten durchgeführt, wobei sich herausgestellt hat, daß jene Tibiaköpfe mit Grad IV Knorpelschäden zu einer Verzerrung der Ergebnisse führten. Deshalb wurden diese Präparate aus der Endauswertung genommen. Dargestellt ist die Auswertung mit 20 Präparaten.

### 4.4.1 Positionen der Meniskusmittelpunkte in Bezug zum Tibiaplateau

#### 4.4.1.1 VH: IV in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,91, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,83. Die Steigung b wird mit 2,00 angegeben, der p-Wert beträgt  $2,4 \cdot 10^{-8}$ . Es besteht eine hohe Korrelation zwischen den Merkmalen, die Steigung ist signifikant positiv.

(Abb. 11 S. 25, Tab. 9 S. 69).

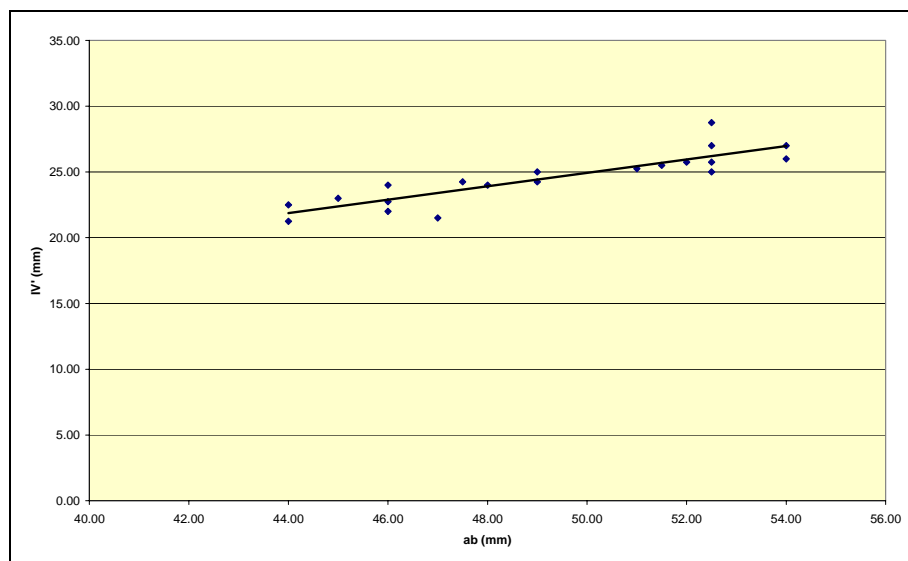


**Abb. 19:** IV in Relation zu ab (AMVH).

#### 4.4.1.2 HH: IV' in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,87, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,76. Die Steigung  $b$  wird mit 1,5 angegeben, der p-Wert beträgt  $4,67 \cdot 10^{-8}$ . Es besteht auch hier eine hohe Korrelation bei signifikant positiver Steigung.

(Abb. 12 S. 25, Tab. 12 S. 72).

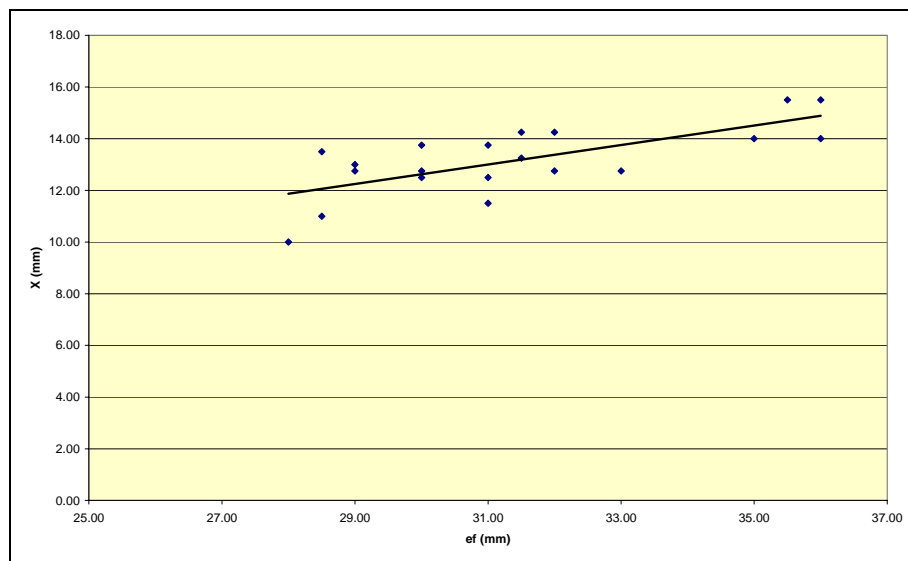


**Abb. 20:** IV' in Relation zu ab (AMHH).

#### 4.4.1.3 VH: X in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,71, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,50. Die Steigung  $b$  wird mit 1,33 angegeben, der p-Wert beträgt  $4,8 \cdot 10^{-4}$ . Der Korrelationskoeffizient ist im Vergleich zu den beiden vorherigen Auswertungen kleiner, es besteht trotzdem ein relevanter Zusammenhang zwischen den Merkmalen. Die Steigung ist signifikant positiv.

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).

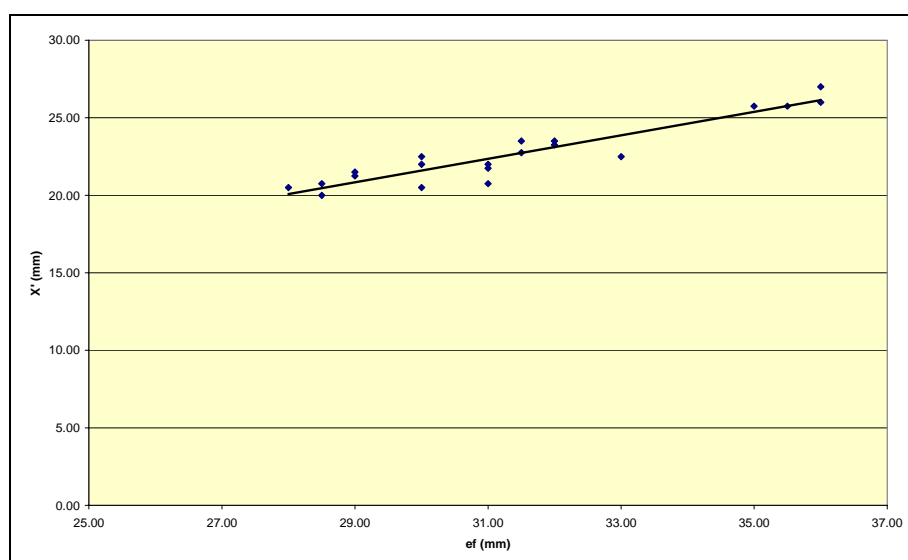


**Abb. 21:** X in Relation zu ef (AMVH).

#### 4.4.1.4 HH: X' in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,94, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,88. Die Steigung b wird mit 1,16 angegeben, der p-Wert beträgt  $4,8 \cdot 10^{-4}$ . Hohe Korrelation, positive Steigung.

(Abb. 14 S. 27, Tab. 13 S. 73).



**Abb. 22:** X' in Relation zu ef (AMHH).

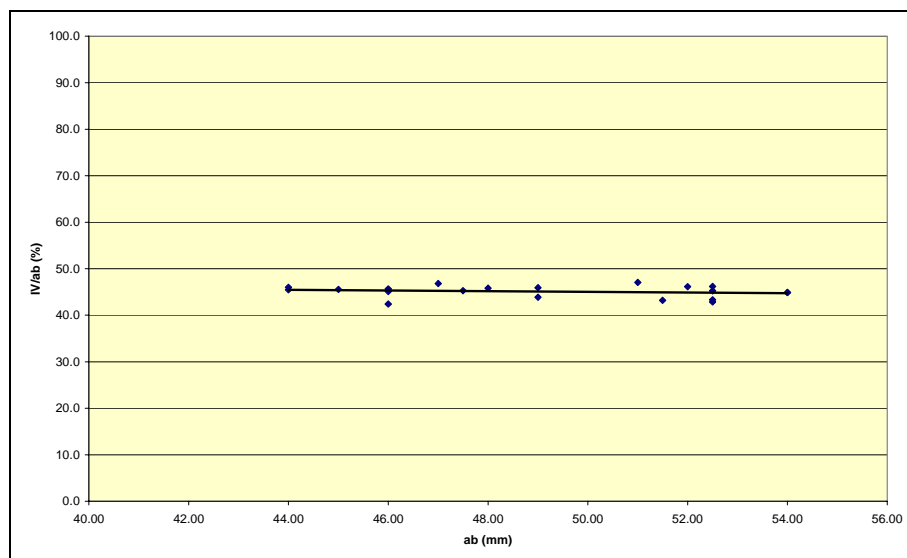
Die Auswertungen 4.4.1.1-4.4.1.4 zeigen, daß eine hohe positive Korrelation besteht zwischen der Distanz vom Außen- bzw. Vorderrand zum Meniskusmittelpunkt und der Tibiabreite bzw. -tiefe. Die Steigung  $b$  der Regressionsgeraden ist in allen Fällen signifikant positiv ( $p$ -Werte alle unter dem Signifikanzniveau von 0,05). Man kann daraus schließen, daß die beschriebenen Merkmale in einem linearen Zusammenhang zueinander stehen.

#### **4.4.2 Relative Positionen der Meniskusmittelpunkte in Bezug zum Tibiaplateau**

##### 4.4.2.1 VH: IV/ab (%) in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,18, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,03. Die Steigung  $b$  wird mit -0,48 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt 0,44. Die Werte korrelieren nicht miteinander, die Steigung der Regressionsgeraden ist nicht-signifikant.

(Abb. 11 S. 25, Tab. 9 S. 69).

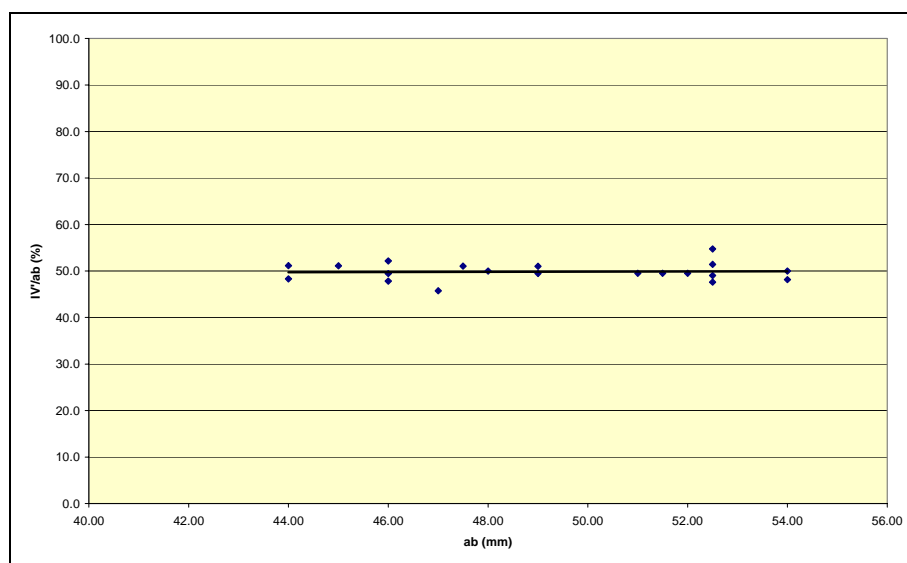


**Abb. 23:** IV/ab (%) in Relation zu ab (AMVH).

#### 4.4.2.2 HH: IV'/ab (%) in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,04, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,00. Die Steigung  $b$  wird mit 0,07 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt 0,87. Keine Korrelation, nicht-signifikante Steigung.

(Abb. 12 S. 25, Tab. 12 S. 72).



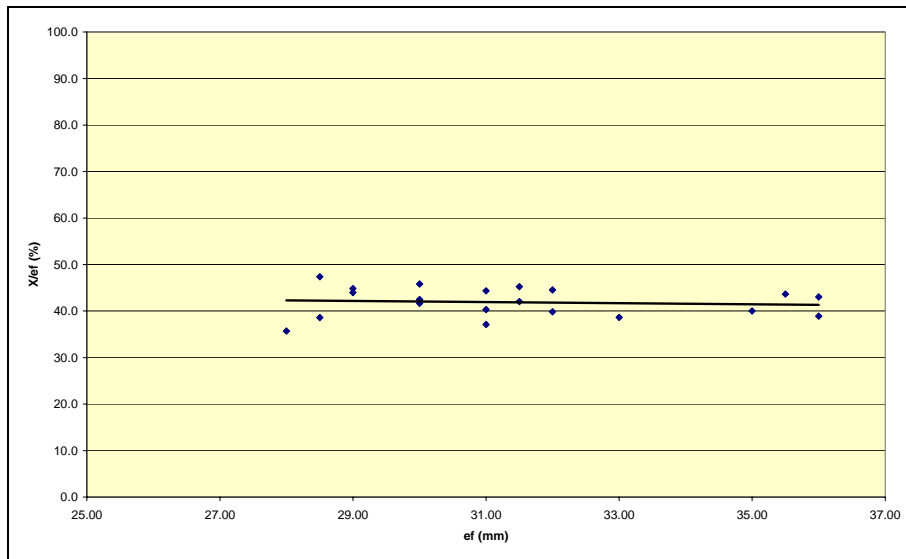
**Abb. 24:** IV'/ab (%) in Relation zu ab (AMHH).

#### 4.4.2.3 VH: X/ef (%) in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,09, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,01. Die Steigung  $b$  wird mit -0,08 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt 0,69. Ebenfalls keine Korrelation der Merkmale bei nicht-signifikanter Steigung.

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).



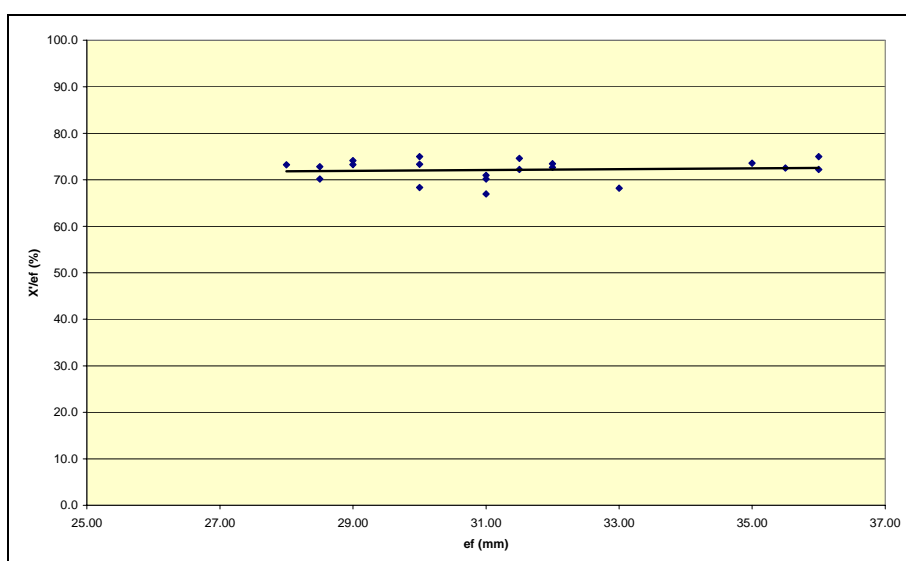


**Abb. 25:** X/ef (%) in Relation zu ef (AMVH).

#### 4.4.2.4 HH: X'/ef (%) in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,10, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,01. Die Steigung  $b$  wird mit -0,11 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt 0,68. Keine Korrelation, nicht-signifikante Steigung.

(Abb. 14 S. 27, Tab. 12 S. 72).



**Abb. 26:** X'/ef (%) in Relation zu ef (AMHH).

Die Regressionsanalysen in 4.4.2.1-4.4.2.4 zeigen, daß keine Korrelation zwischen den untersuchten Werten besteht; der p-Wert liegt in allen vier Fällen über dem Signifikanzniveau von 0,05, woraus man schließen kann, daß die Steigung der Regressionsgeraden in keinem der Fälle signifikant ist.

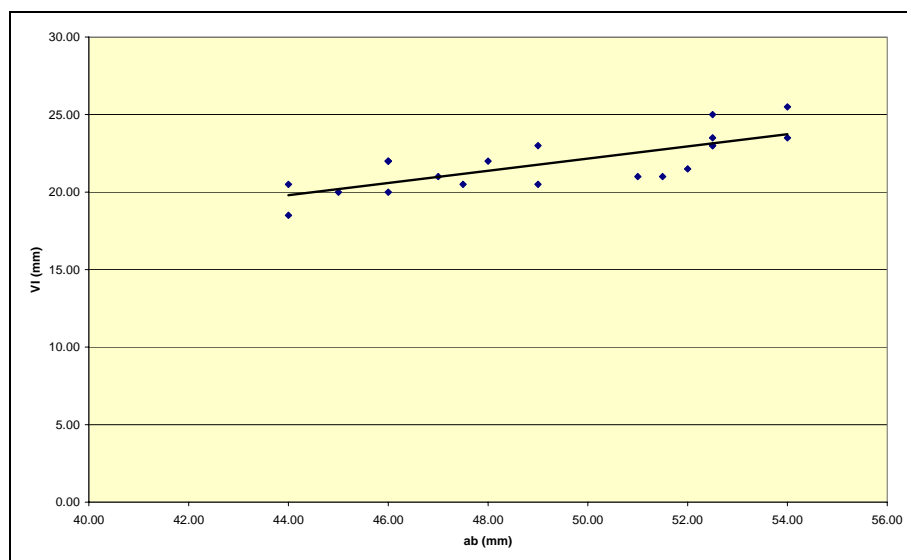
Daraus kann man schließen, daß die relative Position des Außenmeniskusvorder- und -hinterhorns in Bezug zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus konstant ist.

### **4.4.3 Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau**

#### **4.4.3.1 VI in Relation zu ab**

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,76, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,57. Die Steigung b wird mit 1,46 angegeben, der p-Wert beträgt  $1,1 \cdot 10^{-4}$ .

(Abb. 11 S. 25, Tab. 10 S. 70).

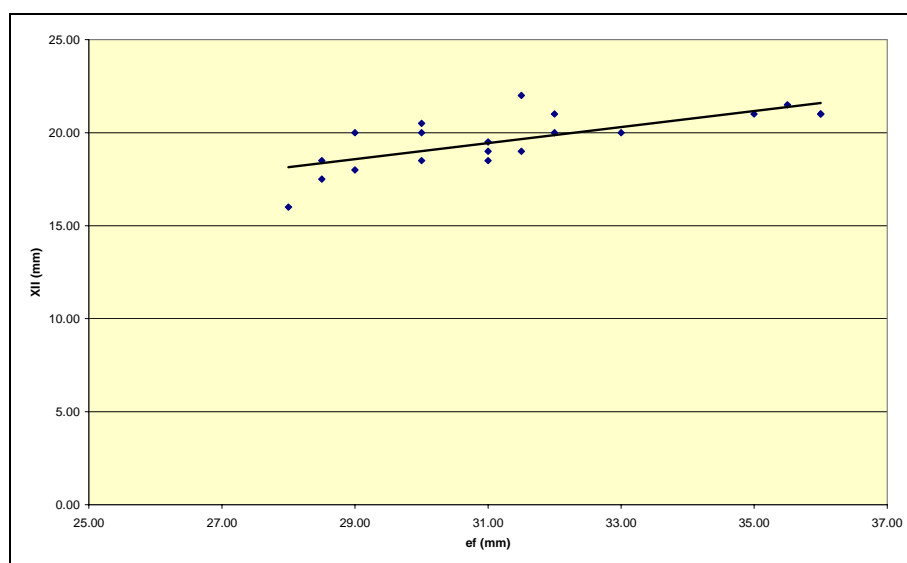


**Abb. 27:** VI in Relation zu ab.

#### 4.4.3.2 XII in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,73, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,53. Die Steigung b wird mit 1,22 angegeben, der p-Wert beträgt  $2,9 \cdot 10^{-4}$ .

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).



**Abb. 28:** XII in Relation zu ef.

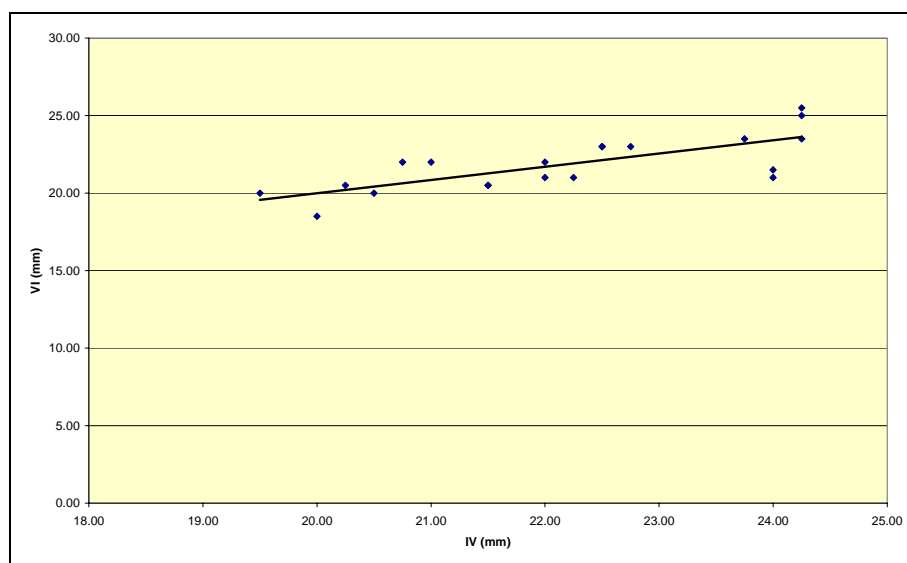
Die Auswertungen zeigen, daß eine relevante positive Korrelation besteht zwischen der Distanz vom Außen- bzw. Vorderrand zum TIL und der Tibiabreite bzw. -tiefe. Die Steigung b der Regressionsgeraden ist sowohl für die a.p.-Aufnahmen als auch für die s.-Aufnahmen signifikant positiv (p-Werte unter dem Signifikanzniveau von 0,05). Man kann also schließen, daß die beschriebenen Merkmale in einem linearen Zusammenhang zueinander stehen.

#### **4.4.4 Position des TIL in Bezug zu den Meniskusmittelpunkten**

##### **4.4.4.1 VH: VI in Relation zu IV**

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,75, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,57. Die Steigung  $b$  wird mit 0,66 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt  $1,3 \cdot 10^{-4}$ .

(Abb. 11 S. 25, Tab. 10 S. 70).

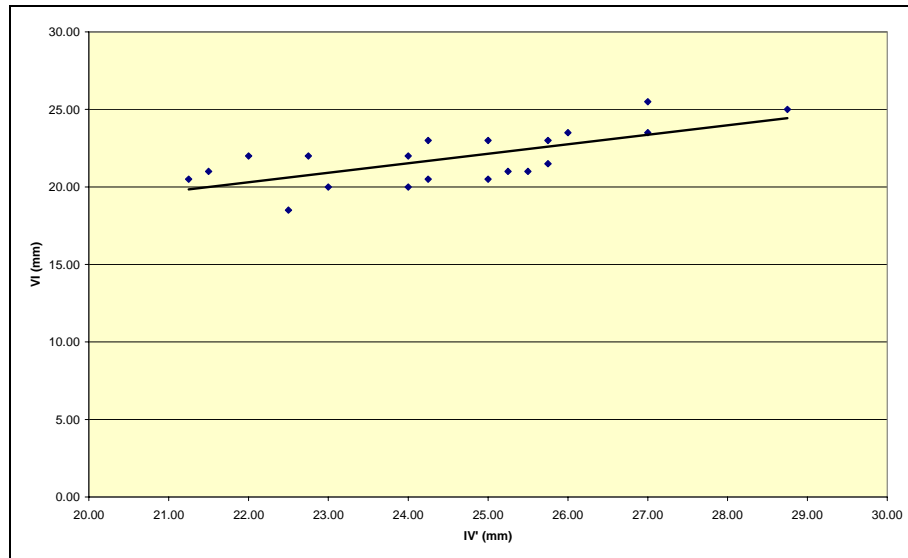


**Abb. 29:** VI in Relation zu IV (AMVH).

##### **4.4.4.2 HH: VI in Relation zu IV'**

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,69, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,47. Die Steigung  $b$  wird mit 0,77 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt  $8,0 \cdot 10^{-4}$ .

(Abb. 12 S. 25, Tab. 13 S. 73).

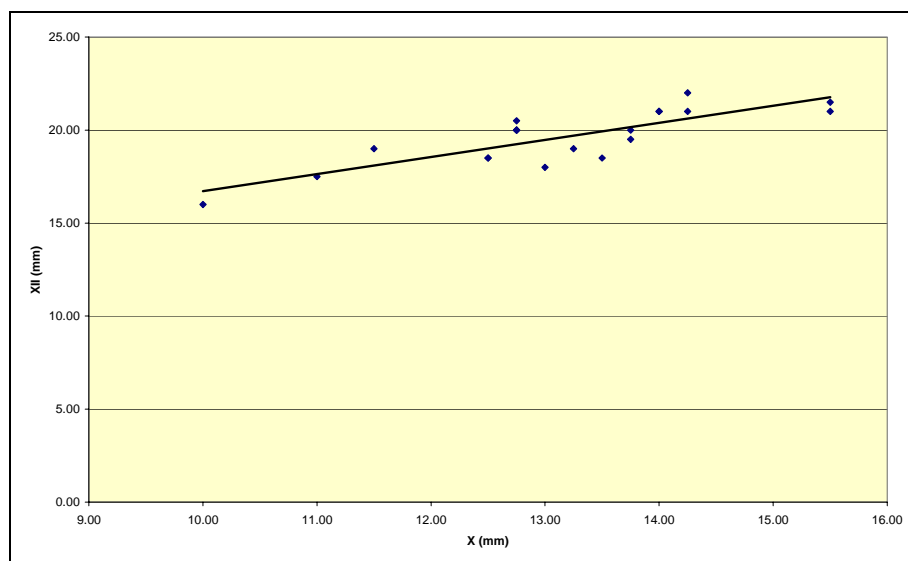


**Abb. 30:** VI in Relation zu IV' (AMHH).

#### 4.4.4.3 VH: XII in Relation zu X

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,82, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,68. Die Steigung  $b$  wird mit 0,74 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt  $8,0 \cdot 10^{-6}$ .

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).

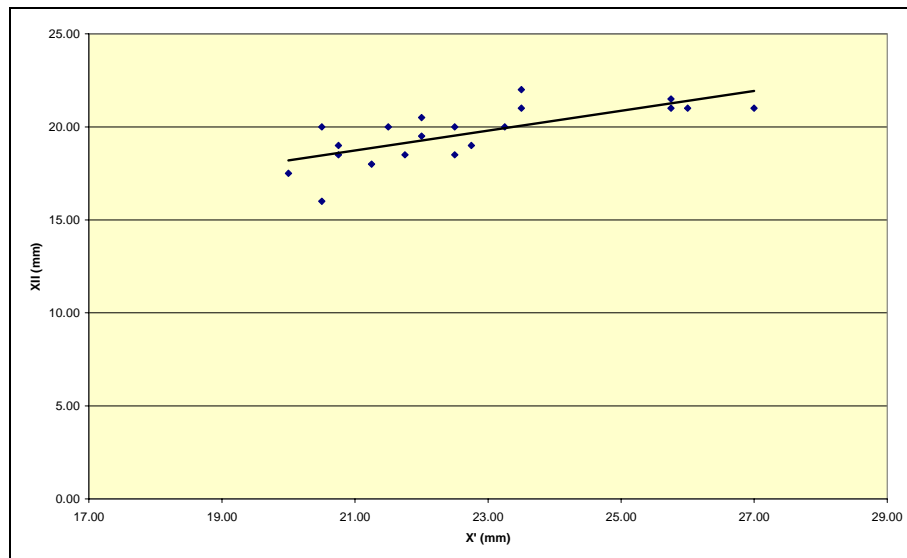


**Abb. 31:** XII in Relation zu X (AMVH).

#### 4.4.4.4 HH: XII in Relation zu X'

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,73, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,53. Die Steigung b wird mit 0,99 angegeben, der p-Wert beträgt  $2,9 \cdot 10^{-4}$ .

(Abb. 14 S. 27, Tab. 13 S. 73).



**Abb. 32:** XII in Relation zu X' (AMHH).

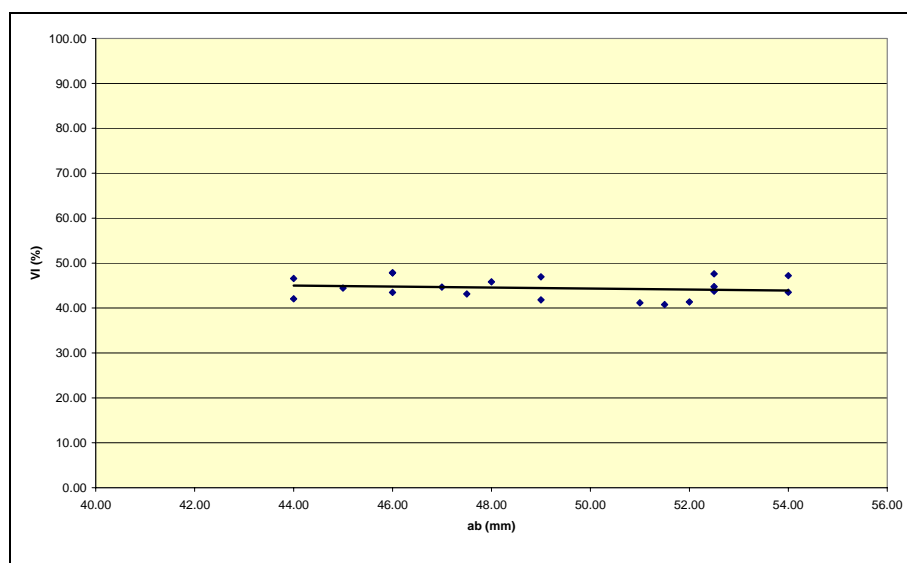
Die Auswertungen zeigen, daß eine hohe positive Korrelation besteht zwischen der Distanz vom Außen- bzw. Vorderrand des Tibiaplateaus zum Meniskusmittelpunkt und der Distanz vom Außen- bzw. Vorderrand des Tibiaplateaus zum TIL. Die Steigung b der Regressionsgeraden ist in allen Fällen signifikant positiv (p-Werte alle unter dem Signifikanzniveau von 0,05). Man kann daraus schließen, daß die beschriebenen Merkmale in einem linearen Zusammenhang zueinander stehen.

#### **4.4.5 Relative Position des TIL in Bezug zum Tibiaplateau**

##### **4.4.5.1 VI/ab (%) in Relation zu ab**

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,16, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,03. Die Steigung  $b$  wird mit -0,23 angegeben, der p-Wert beträgt 0,50.

(Abb. 11 S. 25, Tab. 10 S. 70).

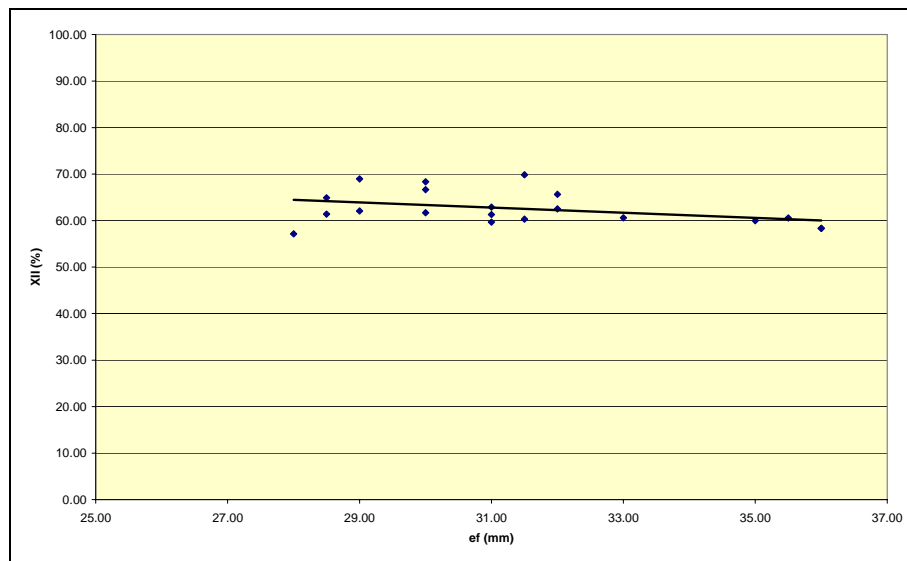


**Abb. 33:** VI/ab (%) in Relation zu ab.

##### **4.4.5.2 XII/ef (%) in Relation zu ef**

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,38, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,15. Die Steigung  $b$  wird mit -0,26 angegeben, der p-Wert beträgt 0,10.

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).



**Abb. 34:** XII/ef (%) in Relation zu ef.

Es besteht keine Korrelation zwischen den untersuchten Werten; der p-Wert liegt über dem Signifikanzniveau von 0,05, woraus man schließen kann, daß die Steigung der Regressionsgeraden nicht signifikant ist.

Somit kann die relative Position des TIL in Bezug zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus als konstant betrachtet werden.

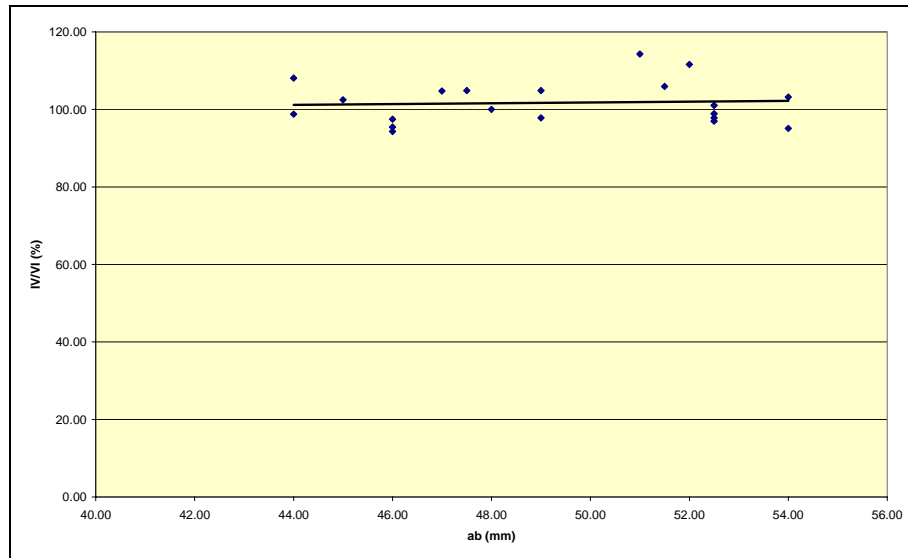
#### **4.4.6 Verhältnis von TIL und Meniskusmittelpunkten in Bezug zum Tibiaplateau**

##### 4.4.6.1 VH: (IV/VI) (%) in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,06, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,00. Die Steigung b wird mit 0,1 angegeben, der p-Wert beträgt 0,8.

(Abb. 11 S. 25, Tab. 10 S. 70).



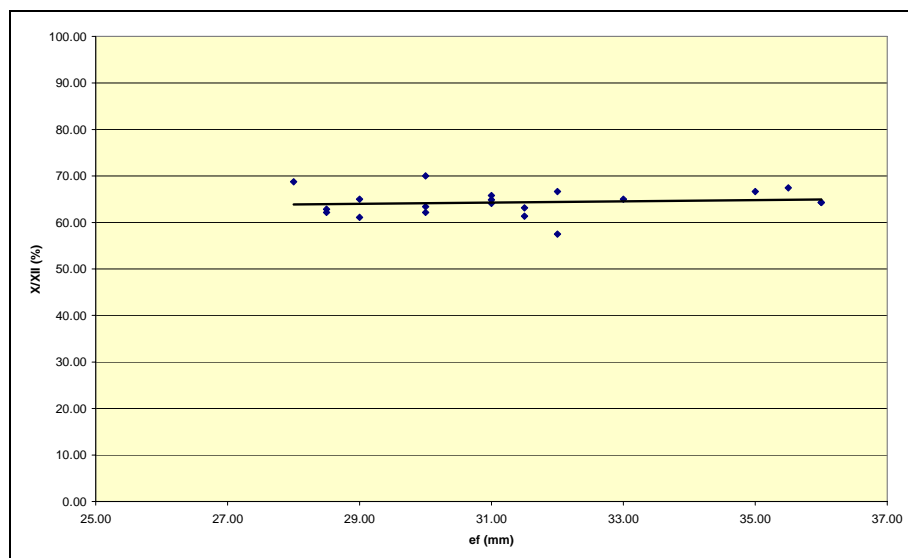


**Abb. 35:** (IV/VI) (%) in Relation zu ab (AMVH).

#### 4.4.6.2 VH: (X/XII) (%) in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient  $R$  beträgt 0,12, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,01. Die Steigung  $b$  wird mit 0,1 angegeben, der  $p$ -Wert beträgt 0,62.

(Abb. 13 S. 27, Tab. 10 S. 70).

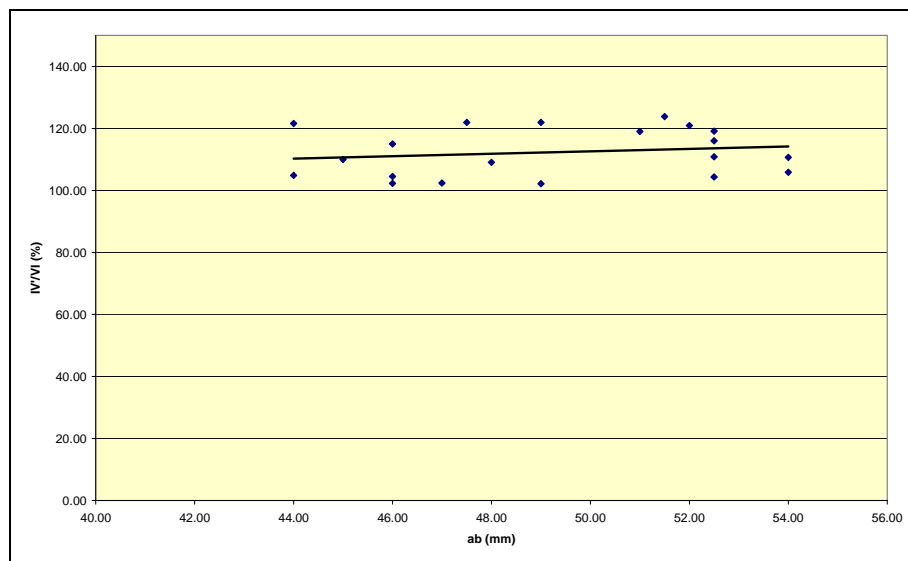


**Abb. 36:** (X/XII) (%) in Relation zu ef (AMVH).

#### 4.4.6.3 HH: (IV'/VI) (%) in Relation zu ab

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,17, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,03. Die Steigung b wird mit 0,08 angegeben, der p-Wert beträgt 0,47.

(Abb. 12 S. 25, Tab. 13 S. 73).

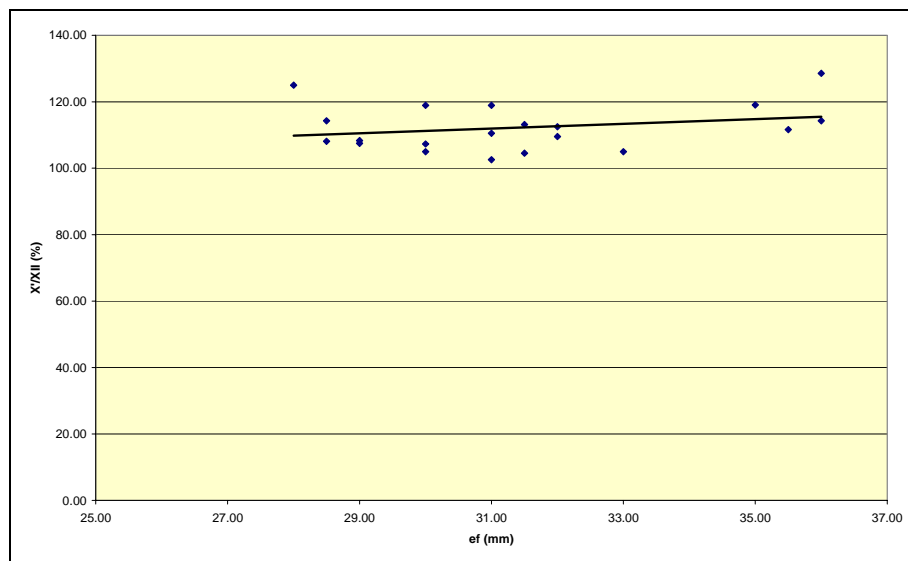


**Abb. 37:** (IV'/VI) (%) in Relation zu ab (AMHH).

#### 4.4.6.4 HH: (X'/XII) (%) in Relation zu ef

Der Korrelationskoeffizient R beträgt 0,26, das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  0,07. Die Steigung b wird mit 0,10 angegeben, der p-Wert beträgt 0,28.

(Abb. 14 S. 27, Tab. 13 S. 73).



**Abb. 38:** ( $X'/XII$ ) (%) in Relation zu ef (AMHH).

Die Auswertungen in 4.4.6.1-4.4.6.4 zeigen, daß keine Korrelation zwischen den untersuchten Werten besteht; der p-Wert liegt über dem Signifikanzniveau von 0,05, woraus man schließen kann, daß die Steigung der Regressionsgeraden nicht signifikant ist.

Das Verhältnis der Meniskusansätze zum TIL ist in den a.p.-Aufnahmen und in den s.-Aufnahmen somit als konstant zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus zu betrachten.

Anhand der deskriptiven Statistik konnte gezeigt werden, daß:

1. Der Ansatz des Außenmeniskusvorder- und -hinterhorns eine hohe Korrelation mit Breite und Tiefe des Tibiaplateaus zeigt,
2. Ebenso die relative Position dieses Ansatzes konstant in Bezug zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus ist,
3. Die Position des TIL hoch korreliert mit Breite und Tiefe des Tibiaplateaus,
4. Die relative Position dieses Tuberculums konstant ist in Bezug zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus,

5. Die Positionen von lateralem Tuberculum und Meniskusmittelpunkt hoch miteinander korrelieren,
6. Die relative Position vom Meniskusmittelpunkt in Bezug zum Tuberculum konstant ist bezogen auf Breite und Tiefe des Tibiaplateaus.

## **4.5 Anwendung**

### **4.5.1 Präzision der Reproduzierbarkeit der Meniskusmittelpunkte auf Röntgenaufnahmen**

#### *Intrauntersuchervarianz*

Ausgewertet wurde die zweimalige Bestimmung der Prozentwerte durch denselben Untersucher. Für den Methodenfehler (n. Dahlberg, 1940) fanden sich folgende Werte:

	VH, a.p., X/ab	VH, s., X/ab	HH, a.p., X'/ab	HH, s., X'/ab	T, a.p., Y/ab	T, s., Y/ab
<b>Methodenfehler</b>	0.002 %	0.002 %	0.000 %	0.005 %	0.006 %	0.006 %

**Tabelle 6:** Methodenfehler der im Abstand von einem Monat vorgenommenen Auswertungen der Röntgenaufnahmen.

Es läßt sich angesichts des ermittelten Methodenfehlers feststellen, daß die Abweichungen zwischen beiden Beobachtungen sehr gering sind.

#### *Interuntersuchervarianz*

Ausgewertet wurden die von zwei unabhängigen Beobachtern ermittelten Werte für die Meniskusansätze.

	VH, a.p., X	VH, s., X	HH, a.p., X'	HH, s., X'
<b>Methodenfehler</b>	0.115 mm	0.198 mm	0.125 mm	0.341 mm

**Tabelle 7:** Methodenfehler der Ansatzbestimmung durch zwei unabhängige Beobachter.

Auch hier fällt der Methodenfehler sehr gering aus.

#### **4.5.2 Präzision von tibialen Bohrkanälen mit unserer Methode**

Dargestellt ist die Übereinstimmung in % zwischen tibialen Bohrkanälen, die in Kenntnis des anatomischen Meniskusmittelpunktes geplant wurden und Kanälen, deren Zielpunkt der mit unserer Methode bestimmte Meniskusmittelpunkt war. Unter Berücksichtigung der Standardabweichungen liegt diese Übereinstimmung zwischen 80 und 90 %. Dementsprechend wären mit unserer Methode hochpräzise Bohrungen über den tibialen Ansätzen des Außenmeniskus möglich.

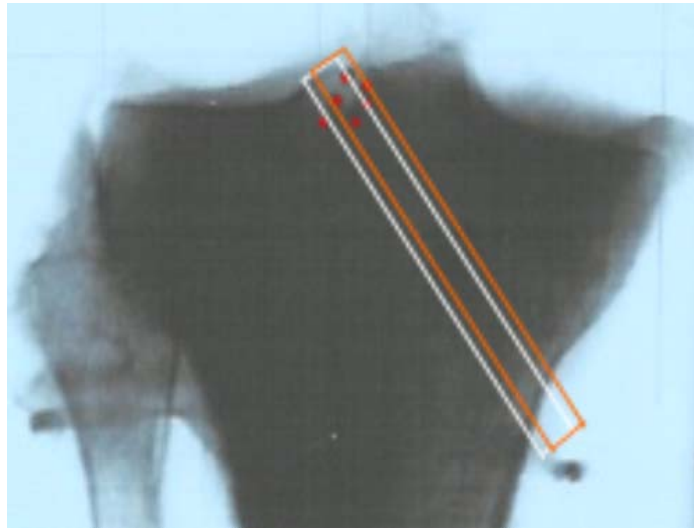
<b>AMVH a.p.</b>	<b>Überschneidung in %</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>91,85</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>6,51</b>
<b>Maximum</b>	<b>100,00</b>
<b>Minimum</b>	<b>79,67</b>

<b>AMVH s.</b>	<b>Überschneidung in %</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>86,67</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>7,62</b>
<b>Maximum</b>	<b>99,16</b>
<b>Minimum</b>	<b>71,71</b>

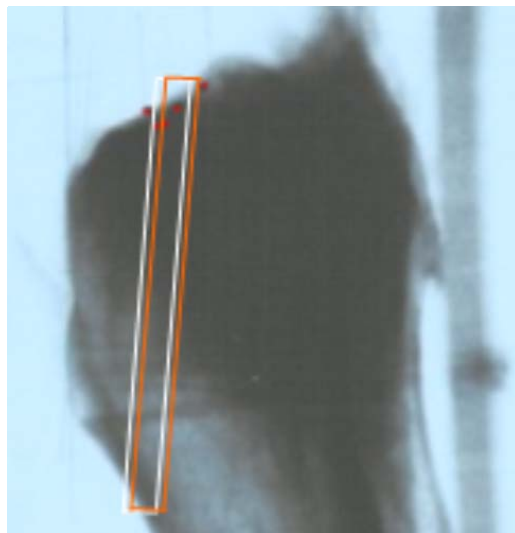
<b>AMHH a.p.</b>	<b>Überschneidung in %</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>88,74</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>10,54</b>
<b>Maximum</b>	<b>98,43</b>
<b>Minimum</b>	<b>57,45</b>

<b>AMHH s.</b>	<b>Überschneidung in %</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>90,69</b>
<b>Standardabweichung</b>	<b>7,03</b>
<b>Maximum</b>	<b>99,37</b>
<b>Minimum</b>	<b>73,85</b>

**Tabelle 8:** Präzision tibialer Bohrtunnel mit unserer Methode.

**Beispiel**

**Abb. 39:** Anteroposteriore Ansicht einer Röntgenaufnahme mit den geplanten Bohrkanälen. Das weiße Rechteck simuliert den Bohrkanal über dem reellen Ansatzpunkt, das orangefarbene den Bohrkanal über dem errechneten Ansatzpunkt. Rot markiert sind die Stahlkugeln der Meniskuszirkumferenz.



**Abb. 40:** Seitliche Ansicht einer Röntgenaufnahme mit den virtuellen Bohrkanälen.

Die Darstellung dient zur Veranschaulichung oben genannter Berechnungen.

---

## **5. Diskussion**

Zur Fixierung des Meniskustransplantats werden in der Literatur grundsätzlich drei Methoden beschrieben: 1. der neue Meniskus wird an die Überreste des ursprünglichen Meniskus angenäht, ohne daß Vorder- und Hinterhorn befestigt werden, 2. die Meniskushörner werden mit einer knöchernen Brücke in einer Nut, die in der Linie der ursprünglichen Ansätze verläuft, am Tibiaplateau befestigt, 3. die Meniskushörner werden mit knöchernen Blöcken einzeln über tibialen Bohrtunneln an ihren ursprünglichen Ansätzen befestigt (KOHN, 1994; CHEN, 1996; RODEO, 2001; KLIMKIEWICZ, 2002; KELLY, 2004).

In einer Studie an Leichenpräparaten zu den Druckverhältnissen im meniskektomierten und transplantierten lateralen Kniegelenkskompartiment sind CHEN ET AL. (1996) zu folgenden Ergebnissen gekommen:

Das intakte Gelenk zeigte die größte Kontaktfläche zwischen Femur und Tibia, den kleinsten Wert des maximalen Kontaktdruckes und den kleinsten Wert für den durchschnittlichen Zentraldruck im Gelenk. Im meniskektomierten Gelenk waren diese Werte umgekehrt: die Kontaktfläche war die kleinste, für den maximalen Kontaktdruck und den durchschnittlichen Zentraldruck im Gelenk wurden die höchsten Werte gemessen.

Der Meniskusersatz mit einer knöchernen Brücke oder den Knochenblöcken in tibialen Bohrtunneln ergaben ähnliche Werte wie in einem intakten Gelenk. Wurden die Meniskushörner beim Ersatz aber nicht oder nur unzureichend befestigt, waren die Resultate denen einer totalen Meniskektomie zu vergleichen.

Somit zeigte sich, daß die Meniskustransplantation eine erhebliche Verbesserung der femorotibialen Druckverhältnisse erwirken kann, sofern die Transplantate ordnungsgemäß fixiert sind (CHEN, 1996).

ALHALKI ET AL. (2000) haben für das mediale Kompartiment gezeigt, daß die Druckverhältnisse im Kniegelenk am besten durch die Methode mit den Knochenblöcken über tibialen Bohrtunneln wiederhergestellt werden konnten, die normalen Verhältnisse im Knie aber nicht erreichten. Die Fixierung des Transplantats

---

mit Meniskusnähten alleine konnte keine normalen biomechanischen Verhältnisse schaffen (ALHALKI, 2000).

Die biomechanische Studie von PALETTA ET AL. (1996) ergab, daß eine totale laterale Meniskektomie zu einer Verringerung der meniskofemorale Kontaktzone von 50 % und einer Erhöhung der femoro-tibialen Druckspannungen von 200-300 % im betroffenen Kompartiment führt. Bei Desinsertion von Vorder- und Hinterhorn waren die Druckverhältnisse denen nach totaler Meniskektomie identisch (PALETTA, 1996).

Auf die Bedeutung der anatomisch korrekten Insertion des Meniskustransplantats wurde bereits von KOHN UND MORENO (1995) hingewiesen.

In einer Studie zum Einfluß der Operationstechnik auf Meniskustransplantate zeigten LAZOVIC ET AL. (1997), daß sowohl Isometrie als auch Kongruenz des Meniskusersatzes von entscheidender Bedeutung für den Erhalt des Transplantats sind. Daraus schlossen sie, daß bei der Meniskustransplantation ein optimal an die Empfängerseite angepaßtes Oberflächenrelief und eine anatomische Insertion von größter Bedeutung sind (LAZOVIC, 1997).

Sowohl CHEN (1996) als auch SEIL (2002) erachteten es als sinnvoll, den Meniskusersatz auf das laterale Kompartiment zu beschränken. Tatsächlich sind die Folgeschäden in einem lateral meniskektomierten Gelenk größer als bei medialer Meniskektomie (MCNICHOLAS, 2000). Außerdem füllt der laterale Meniskus einen größeren Prozentsatz des lateralen Kompartiments aus als der mediale Meniskus im medialen Kompartiment (FUKUBAYASHI, 1980). Zusätzlich ist das laterale Tibiaplateau konvex im Vergleich zum medialen Plateau. Diese Unterschiede führen dazu, daß die femoro-tibiale Kontaktfläche im lateralen Kompartiment bei Verlust des Meniskus erheblich abnimmt (BARATZ, 1986). Auch weist SEIL (2002) darauf hin, daß beim Meniskusverlust im medialen Kompartiment die valgisierende Tibiakopfumstellungsosteotomie ihren Nutzen bewiesen hat, während sie beim lateralen Meniskusverlust aus geometrischen Gründen nicht zum Einsatz kommen kann. Zur Entlastung des lateralen Kompartiments müsste eine varisierende Unterschenkelosteotomie erfolgen. Tibial ist sie deshalb kontraindiziert, weil es



hierdurch zu einem zu starken Abfall der Gelenklinie nach medial käme. Zur Korrektur einer beginnenden lateralen Gonarthrose kann deshalb nur eine suprakondyläre femorale Varisierungsosteotomie erfolgen. Diese hat allerdings im Vergleich zur valgusierenden Tibiakopfosteotomie bei medialer Gonarthrose den Nachteil, daß sie langfristig schlechtere Ergebnisse liefert (RUPP, 2005); außerdem birgt sie den biomechanischen Nachteil, daß der varisierende Effekt des Eingriffs sich nur in Streckstellung auf das Kniegelenk auswirkt (PAPE, 2003).

In der Literatur gibt es dementsprechend viele Argumente für den lateralen Meniskusersatz und die anatomisch korrekte Insertion der Transplantate mit der Methode der tibialen Bohrtunnel an der ursprünglichen Ansatzstelle (KOHN, 1995; CHEN, 1996; PALETTA, 1996; LAZOVIC, 1997; ALHALKI, 1999; SEIL, 2002).

Unseres Wissens gibt es jedoch keine Methode, die es dem Operateur ermöglicht, bei der Planung der Meniskustransplantation die Meniskusansätze präzise zu bestimmen. Deshalb haben wir es uns zum Ziel gesetzt, die Röntgenanatomie der Meniskusansätze unter diesem Gesichtspunkt zu studieren.

## **5.1 Material und Methode**

### **5.1.1 Material**

#### ***Tibiaköpfe***

Für unsere Studie benutzten wir 22 formalinfixierte Tibiaköpfe von 11 Körperspendern aus dem Anatomischen Institut der Universität des Saarlandes. Die Fixierungszeit betrug zwischen einem und zwei Jahren.

Andere Autoren benutzten für ähnliche Studien frisch-gefrorene Kniegelenkspräparate (JOHNSON, 1995; POLLARD, 1995; URBAN, 1995) oder frische Leichenpräparate (KOHN, 1995; SHAFFER, 2000).

An den Präparaten waren keine fixationsbedingten anatomischen Veränderungen zu erkennen, die Menisken waren lediglich in ihrer Konsistenz verändert. Die Meniskusinsertionen waren nicht verändert.

Von den 22 Tibiaköpfen zeigten zwei Präparate Knorpeldegenerationen Grad IV nach JACKSON ET AL. (1992) auf; an diesen Präparaten hatten sich durch arthrotische Umbauvorgänge die anatomischen Beziehungen derart verändert, daß eine korrekte Lokalisation der Insertionsareale der Menisken nicht mehr möglich war. Aus diesem Grund wurden die beiden Tibiaköpfe aus der Wertung genommen.

#### ***Bildwandler***

Hersteller: GE OEC Medical Systems, Inc.; Typ: 9800 C-Arm; Verkleinerungsfaktor: 1,47.

URBAN ET AL. (1999) benutzten in ihrer radiologischen Studie zur Position der Meniskusansätze ein Standard-Röntgengerät, beschrieben als "18-inch tube-to-cassette distance standardly used for intraoperative radiographic knee evaluation"; POLLARD ET AL. (1995) benutzten in ihrer Studie zur präoperativen Größenbestimmung der Menisken ebenfalls eine Standard-Röntgenvorrichtung

---

(40-inch tube-to-cassette distance). SHAFFER ET AL. (2000) bedienten sich in einer ähnlichen Studie sowohl eines Röntgengerätes, als auch eines Magnetresonanztomogramms.

Wir haben die Röntgenaufnahmen mit dem C-Arm angefertigt, weil letztendlich die intraoperativen Aufnahmen und die Navigation ebenfalls mit solchen Geräten gemacht werden. Auch wenn die Qualität der Ausdrücke nicht der von konventionellen Röntgenaufnahmen entsprach, waren doch alle wichtigen Strukturen (TIL, TIM, Außen- und Innenrand des Tibiakopfes, vordere und hintere Kortikalis, Tuberositas tibiae) gut zu erkennen und zu differenzieren. Als Beweis hierfür diente die sehr geringe Intra- und Interuntersuchervarianz.

### **5.1.2 Methode**

#### ***Präparation***

Wie bereits mehrfach in der Literatur zur Meniskus-anatomie beschrieben, präparierten wir alle Weichteile von den Tibiaköpfen ab und desinserierten die tibialen Ansätze des Außenmeniskus (JOHNSON, 1995; KOHN, 1995; BERLET, 1998). Die Ansatzfläche war in allen Fällen gut von dem umliegenden Gewebe abzugrenzen. KOHN ET AL. (1995) markierten die Zirkumferenz mit der pyrographischen Methode von Slavunos, JOHNSON ET AL. (1995) zeichneten den Umfang ebenfalls nach.

Zur Bewertung auf den Röntgenaufnahmen mussten unsere Markierungen der Meniskusansatzzirkumferenz jedoch mit röntgendichtem Material vorgenommen werden. URBAN ET AL. (1999) taten dies mit einem dünnen Metalldraht („22-gauge fine wire“). Wir entschieden uns hingegen für Stahlkugeln von 1,6 mm Durchmesser, weil uns die Einbringung in den Knochen sowie die Stabilität der Markierung hiermit eher gesichert erschienen. Für die Markierung eines Meniskusansatzes benötigten wir zwischen fünf und sieben Kugeln.

Die Tatsache, daß wir mit dieser Methode nicht die gesamte Zirkumferenz des Insertionsareals röntgendicht darstellen konnten mag zu einer systematischen

---

Fehlerquelle geführt haben. Aufgrund der sehr geringen Abweichungen unserer Meßdaten scheint dieser Fehler von untergeordneter Bedeutung zu sein.

### ***Meniskusanatomie***

In einer Studie zur Anatomie der Meniskusinsertionen haben JOHNSON ET AL. (1995) gezeigt, daß das Vorderhorn des Außenmeniskus in der Area intercondylaris anterior, direkt vor dem Tuberculum intercondylare laterale (TIL), und lateral von der tibialen Insertion des vorderen Kreuzbandes (VKB) liegt. Als arthroskopische Bezugspunkte wurden das TIL und das VKB beschrieben. Das Hinterhorn des Außenmeniskus inseriert direkt hinter dem TIL, steht in Beziehung zum hinteren Rand des VKB und liegt vor dem Hinterhorn des Innenmeniskus. Als arthroskopische Bezugspunkte wurden auch hier das TIL und das VKB angegeben. Schlußfolgernd wurde festgestellt, daß es für jedes Meniskushorn ein eigenes Insertionsareal mit charakteristischen und konstanten Bezugspunkten gibt (JOHNSON, 1995).

Diese Beschreibungen decken sich mit den topographischen Beziehungen, die wir bei der Präparation beobachtet haben. Die anatomische Fixation des Außenmeniskusvorderhorns befand sich in allen präparierten Knien im Bereich der Area intercondylaris anterior. Im topographischen Zusammenhang fand sich medial der Meniskusinsertionsstelle der Ansatz des vorderen Kreuzbandes; der Außenmeniskusansatz lag in einer Vertiefung am Fuße des TIL.

Die anatomische Insertion des Außenmeniskushinterhorns befand sich fast immer im nach dorsal abfallenden Bereich des TIL, manchmal leicht über die Spitze nach vorne übergreifend und weiter medial als der Vorderhornansatz. Dies spiegelt sich auch in den Beziehungen zur Spitze des TIL wieder: der Mittelpunkt des Vorderhornansatzes lag in 9 Fällen lateral der TIL-Spitze und in 11 Fällen medial hiervon, während der Mittelpunkt des Hinterhornes in allen Fällen medial des TIL lag (Tabelle 5).

KOHN (1995) beschreibt, wie sich der Vorderhornansatz des Außenmeniskus immer mit der tibialen Insertion des vorderen Kreuzbandes verflechtet, während der

---

Hinterhornansatz flach und breitbasig im zur Mitte abfallenden Teil der Area intercondylaris posterior, jedoch lateral vom Ansatz des hinteren Kreuzbandes (HKB) lokalisiert ist. Er weist darauf hin, daß die Insertionsanatomie des hinteren lateralen Meniskushorns eine komplexere Konfiguration aufweist als beim Vorderhorn beobachtet, was er mit der anatomischen Beziehung zu den meniskofemorale Bändern in Verbindung bringt (KOHN, 1995).

URBAN (1999) hat in seiner Studie zur radiologischen Bestimmung der Meniskusansätze ebenfalls gezeigt, daß es für jedes Meniskushorn charakteristische und konstante knöchernen Landmarken gibt. Auf den a.p.-Aufnahmen zeigte sich, daß das Vorderhorn des Außenmeniskus sich mit dem Hinterhorn zum Teil überlappt, und daß beide Hörner auf einer Linie mit dem TIL liegen. Die s.-Aufnahmen zeigen, daß Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus sehr nah beieinander liegen und räumlich nur vom TIL getrennt werden (URBAN, 1999).

Diese engen topographischen Beziehungen zwischen den Ansätzen des Außenmeniskus und dem TIL haben wir bei der Auswertung unserer Aufnahmen ebenfalls wiedergefunden.

Die Auswertung unserer Röntgenaufnahmen erlaubt es, folgende Feststellungen zu machen:

Der Mittelpunkt des AMVH lag in den a.p.-Aufnahmen in 9 Fällen leicht lateral, in 11 Fällen leicht medial von der Spitze des TIL; in der s.-Aufnahme befand sich der Ansatzmittelpunkt immer im Scheitel der dem TIL zu Füßen liegenden Grube.

Der Mittelpunkt des AMHH lag in der a.p.-Aufnahme zwischen dem TIL und dem TIM, weiter medial als der Mittelpunkt des AMVH und immer medial von der Spitze des TIL; in den s.-Aufnahmen konnte man erkennen, daß der Hinterhornansatz häufig die Kuppe des TIL überzog und den nach dorsal abfallenden Scheitel des TIL immer bekleidete.

### ***Vermessung***

Zur Bestimmung der verschiedenen Distanzen in den a.p.- und s.-Aufnahmen bedienen wir uns radiologischer Landmarken, die in der Literatur mehrfach

---

beschrieben wurden (RACANELLI, 1994; POLLARD, 1995; URBAN, 1999; SHAFFER, 2000).

Ein Problem, auf das bereits POLLARD ET AL. (1995) aufmerksam machten, war die Standardisierung der Röntgenaufnahmen. In der a.p.-Aufnahme ist diese noch ohne größere Schwierigkeiten zu erreichen, da die Tibiaköpfe auf den Kondylen stabil aufliegen und keine Gefahr einer Rotation besteht. In der s.-Aufnahme hingegen muss zum ersten eine stabile Lagerung der Tibiaköpfe erreicht werden, zum zweiten muß diese so vorgenommen werden, daß die Tuberositas tibiae sichtbar ist, die beiden Kondylen übereinander liegen (POLLARD, 1995) und keine Rotation während der Manipulationen entsteht. Zu diesem Zweck benutzten wir eine Holzschiene aus zwei im rechten Winkel aneinandergelassenen Brettern, in die die Tibiaköpfe mit Hilfe von Gummibändern eingespannt wurden. So war es möglich, die vorgenannten Bedingungen in den s.-Aufnahmen zu erfüllen.

In der a.p.-Aufnahme benutzten wir als Landmarken den medialen und lateralen metaphysären Rand des Tibiaplateaus. Wie POLLARD ET AL. (1995) ignorierten wir dabei marginale osteophytäre Anbauten. Zum Einzeichnen der orthogonalen Linie, die die beiden Parallelen durch die oben beschriebene Landmarken schneidet, benutzten wir als Landmarke das TIL, zu dem die Orthogonale tangential verläuft.

In der s.-Aufnahme benutzten wir als Landmarke zur vorderen Abgrenzung des Tibiaplateaus wie POLLARD ET AL. (1995) eine Linie, die parallel zur vorderen Tibia über der Tuberositas verläuft. Als posteriore Landmarke beschreibt er eine Linie, die tangential zum hinteren Rand des Tibiaplateaus und orthogonal zur Gelenklinie verläuft. Wir bedienten uns hier als Landmarke dem posterioren tibialen Grat („ridge“) in der Area intercondylaris posterior, die von RACANELLI (1994) im Zusammenhang mit dem HKB-Ansatz beschrieben wird. Dieser reproduzierbare Punkt liegt am Übergang der Area intercondylaris posterior zur posterioren Kortikalis und stimmt überein mit dem am weitesten distal gelegenen Ansatz des HKB (RACANELLI, 1994). Auch URBAN (1999) erwähnt als radiologische Landmarke für den AMHH-Ansatz die posteriore Fossa intercondylaris (URBAN, 1999). Unsere

---

Referenzlinie verläuft parallel zur posterioren Kortikalis und tangential zur „ridge“. Um die Verbindung zwischen beiden Linien herstellen und die Tiefe des Tibiaplateaus bestimmen zu können, zeichneten wir eine Linie eine, die orthogonal zur hinteren Begrenzung und tangential zum TIL verläuft, um vorne schließlich die vordere Begrenzung zu schneiden.

POLLARD ET AL. (1995) haben herausgefunden, daß die prozentualen Beziehungen der Meniszi zur Größe des Tibiaplateaus sehr beständig waren, unabhängig von den Unterschieden in der Körpergröße. Dies war einer der Gründe, die uns dazu veranlassten, die Meniskusansätze relativ zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus zu bestimmen.

URBAN ET AL. (1999), deren radiologische Studie ebenfalls der Anatomie der Meniskusansätze hinsichtlich der präoperativen Bestimmung galt, setzten die Insertionsareale nicht in Bezug zu den Dimensionen des Tibiaplateaus. In der a.p.-Aufnahme gehen die Autoren von der Mitte des Tibiaplateaus aus und bestimmen die Distanz zur Mitte des Vorder- und Hinterhornansatzes; in der s.-Aufnahme tun sie dasselbe von der Spitze des TIL aus.

Der Kritikpunkt, auf den wir in der Diskussion der Ergebnisse ausführlicher zurückkommen werden, liegt nun darin, daß diese Vermessungen nur absolute Werte erheben. Man vermisst die Distanzen auf dem Röntgenbild und kann sich lediglich auf sie beziehen, die wirklichen Werte kann man hieraus nicht ableiten. Zudem kann keine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gemacht werden, weil man die Unterschiede in der Körperkonstitution nicht beachtet.

Aus diesem Grund haben wir, nachdem Länge und Breite sowie die Distanz zum Mittelpunkt des Meniskusansatzes und zum TIL auf den Röntgenbildern bestimmt waren, die relativen Werte für die Meniskusansätze ermittelt.

### ***Auswertung und statistische Methode***

Nachdem wir das Tibiaplateau vermessen und die Positionen der Meniskusmittelpunkte und des TIL bestimmt hatten, ermittelten wir die relativen Werte für die Positionen der Meniskusmittelpunkte und des Tibiaplateaus. Außerdem

ermittelten wir das Verhältnis der Meniskusmittelpunkte zum TIL, bezogen auf das Tibiaplateau.

URBAN ET AL. (1999) haben diese Distanzen ebenfalls in ihrer Studie für ihre Röntgenaufnahmen gemessen, sich jedoch stets auf die absoluten Werte bezogen.

Um nun eine Aussage über die Konstanz der Meniskusmittelpunkte, und somit über die Position der Meniskusansätze auf dem Tibiaplateau machen zu können, haben wir eine statistische Auswertung unserer Messungen vorgenommen.

Mit Hilfe der Methode der linearen Regression haben wir die Distanzen von Außen- bzw. Vorderrand des Tibiaplateaus zum Meniskusmittelpunkt in Bezug gesetzt zur Breite bzw. Tiefe des Tibiaplateaus und das Bestimmtheitsmaß sowie die Korrelationskoeffizienten ermittelt.

Um die Konstanz der Ansätze zu bestimmen, haben wir die entsprechenden relativen Werte in Bezug gesetzt zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus, und die Ergebnisse der linearen Regression einem statistischen Test unterzogen; das Signifikanzniveau wurde auf  $p = 0,05$  festgelegt.



---

## **5.2 Ergebnisse**

URBAN (1999) beschrieb radiologische Landmarken für die Meniskusansätze und erwähnte, daß die Position der Ansatzstellen reproduzierbar ist. Er konnte aufgrund seiner Auswertung diese Aussagen jedoch nicht eindeutig belegen.

Seine Vermessungen der Meniskusansätze bezogen sich auf die Mittellinie der Tibia in der a.p.-Aufnahme und auf das TIL in der s.-Aufnahme. Seine Werte gibt er in Zentimeter an. Wir sind der Auffassung, daß man somit durchaus eine Beschreibung der Meniskusansätze vornehmen kann, es aber nicht möglich ist, allgemeingültige und reproduzierbare Aussagen zu treffen.

Um zu zeigen, daß die Positionen der Meniskusansätze konstant sind, setzten wir die Positionen der Meniskusmittelpunkte in Relation zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus. Die Regressionsanalyse ergab Korrelationskoeffizienten zwischen 0,71 und 0,94, was auf eine hohe Korrelation zwischen Meniskusmittelpunkt und Tibiaplateau hinweist; die Steigung  $b$  der Regressionsgeraden war in allen Fällen signifikant. Um eine Aussage über die relative Position, d.h. die prozentualen Werte der Meniskusmittelpunkte machen zu können, setzten wir diese in Relation zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus. Die Korrelationskoeffizienten liegen um den Wert 0, die lineare Regression zeigt eine nicht-signifikante Steigung. Dementsprechend können die relativen Positionen der Meniskusansätze auf dem Tibiaplateau als konstant betrachtet werden. Dies stimmt überein mit der Feststellung, daß die prozentualen Beziehungen der Meniszi zum Tibiaplateau, unabhängig von Unterschieden in der Körperkonstitution, sehr konstant sind (POLLARD, 1995).

Dieselben Auswertungsverfahren haben es uns erlaubt zu zeigen, daß die Position des TIL hoch mit Breite und Tiefe des Tibiaplateaus korreliert (a.p.:  $R = 0,76$ ; s.:  $R = 0,73$ ) und die relative Position des TIL konstant ist. Ebenso korreliert die Position des TIL mit jener der Meniskusmittelpunkte; es hat sich auch hier zeigen lassen, daß ihre relativen Positionen konstant zueinander sind.

LINTNER ET AL. (1996) gaben für die femoralen und tibialen Ansätze des vorderen Kreuzbandes die jeweilige Position auf dem Femur bzw. dem Tibiaplateau in

---

Prozentwerten an; wir haben für AMVH und AMHH ebenfalls die prozentualen Positionen der Meniskusmittelpunkte beschrieben.

Der AMVH-Ansatzmittelpunkt liegt demnach bei 45,1 % (Spannweite: 42,4 % - 47,1 %) der Tibiabreite, von lateral nach medial, und bei 41,9 % (Spannweite: 35,7 % - 47,4 %) der Tibiatiefe, von anterior nach posterior. Der Standardfehler wird mit 1,3 % (a.p.) bzw. 3,2 % (s.) angegeben, was man als gering bewerten kann.

Der AMHH-Ansatzmittelpunkt liegt bei 49,8 % (Spannweite: 45,7 % - 54,8 %) der Tibiabreite, von lateral nach medial, also auf der Mittellinie der Tibia, und bei 72,1 % (Spannweite: 66,9 % - 75,0 %) der Tibiatiefe, von anterior nach posterior. Der Standardfehler ist auch hier gering, er liegt bei 1,9 % (a.p.) bzw. 2,3 % (s.). Die Konstanz der Meniskusansätze spiegelt sich somit auch in diesen Werten wieder.

Wir haben ebenfalls die prozentuale Position des TIL bestimmt und vergleichbar niedrige Standardfehler gefunden.

LAZOVIC (1997) zeigte, daß eine kongruente aber anisomertrische Refixation eines Meniskus mit einer Abweichung von 8-10 mm von den korrekten Insertionsarealen deutliche histologische und morphologische Veränderungen mit sich führt. In seiner Studie zeigte die Gruppe der anisometrischen Transplantate die stärkste Degeneration. Nimmt man eine mittlere Tibiabreite von 73 mm und eine mittlere Tibiatiefe von 47 mm an (Werte aus unseren makroskopischen Messungen ermittelt) und berechnet die Standardfehler aus unseren Prozentwerten, so ergibt sich für das Vorderhorn ein Standardfehler von 0,94 mm in der a.p.-Aufnahme und von 1,50 mm in der s.-Aufnahme; für das Hinterhorn fanden wir einen Standardfehler von 1,39 mm in der a.p.-Aufnahme und von 1,08 mm in der s.-Aufnahme. Die Werte der Standardfehler liegen somit weit unter den 8-10 mm, bei denen es nach LAZOVIC (1997) zu starken degenerativen Veränderungen im Gelenk nach Transplantation kommt. Dies kann als Hinweis auf die mögliche Präzision unserer Bestimmungen und auf den daraus folgenden praktischen Nutzen gewertet werden.

Unseres Wissens nach gibt es in der Literatur keine vergleichbaren Beschreibungen der Ansätze des Außenmeniskus.

---

### **5.3 Anwendbarkeit**

#### ***Reproduzierbarkeit***

Die Intrauntersuchervarianz für die Bestimmungen der Relativwerte der Meniskusmittelpunkte war sehr gering; bei nach der Dahlberg-Formel (1940) ermittelten Werten zwischen 0,000 % und 0,006 % kann man folgern, daß die Bestimmungen ohne relevante Abweichungen reproduzierbar waren. Um eine weitere Aussage über die Reproduzierbarkeit der Bestimmungen mit unserer Methode machen zu können, ermittelten zwei Oberärzte der Orthopädischen Universitätsklinik Homburg/Saar unabhängig voneinander die Meniskusansätze auf Nativbildern. Die Interuntersuchervarianz (nach Dahlberg, 1940) war mit Werten zwischen 0,115 mm und 0,341 mm angesichts einer mittleren Tibiabreite auf den Röntgenaufnahmen von 49,2 mm und einer mittleren Tibiatiefe von 31,43 mm vernachlässigbar gering. Dies spricht insgesamt für eine hohe Reproduzierbarkeit der Bestimmungen mit unserer Methode.

#### ***Präzision***

Ziel unserer Studie war es, eine Methode zu entwickeln, mit der man prä- und intraoperativ mit hoher Präzision die Meniskusansätze ermitteln kann. Die Reproduzierbarkeit unserer Methode haben wir bereits gezeigt. Um die Präzision, mit der man in der Folge tibiale Bohrtunnel anfertigen kann, zu ermitteln, haben wir für die a.p.- und s.-Aufnahmen bestimmt, wo sich der Bohrtunnel befände, wenn man die anatomischen Meniskusmittelpunkte anzielen würde. Darüber hinaus haben wir die Tunnellage in Bezug auf den theoretisch ermittelten Mittelpunkt des Insertionsareals bestimmt. Dabei haben wir feststellen können, daß sich 87-92 % der Fläche beider Tunnelausgänge auf dem Tibiakopf überlagern. Neben den geringen Standardfehlern ist dies eine erneute Bestätigung für die Präzision unserer Bestimmungen.

## **6. Schlußfolgerung**

Die Auswertung unserer Vermessungen ergab, daß die Ansätze des Außenmeniskus mit einer großen Konstanz ihre Position auf dem Tibiaplateau einnehmen, und daß sie in einer festen Beziehung zum Tuberculum intercondylare laterale stehen.

Mit der von uns beschriebenen Methode, die auf den Vermessungen der Aufnahmen der präparierten Tibiaköpfe basiert, ist es möglich, die Mitte des Ansatzes von Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus präzise und reproduzierbar zu bestimmen.

Vor einem meniskusersetzenden Eingriff kann man somit die Außenmeniskusansätze auf Röntgenbildern lokalisieren. Intraoperativ ermöglicht diese Bestimmung eine präzise Positionierung des Zielgerätes; in der Zukunft besteht eventuell die Möglichkeit, mit der computer-assistierten Navigation die bestimmten Punkte blind anzuvisieren. Darüberhinaus ermöglicht die Konstanz dieser anatomischen Referenzpunkte möglicherweise die Erstellung einer „Kartographie“ der Insertionsareale von wichtigen anatomischen Strukturen, welche insbesondere in computergesteuerten Operationsverfahren angewandt werden könnte.

## 7. Anhang

	ab (mm)	I (mm)	II (mm)	III (mm)	IV (mm)	V (mm)	IV/ab	V/ab
837 R AM VH	46.00	17.50	21.50	7.00	21.00	25.00	0.457	0.543
837 L AM VH	46.00	17.50	22.00	6.50	20.75	25.25	0.451	0.549
868 R AM VH	52.50	20.00	27.00	5.50	22.75	29.75	0.433	0.567
868 L AM VH	52.50	20.00	27.50	5.00	22.50	30.00	0.429	0.571
869 R AM VH	47.00	18.00	21.00	8.00	22.00	25.00	0.468	0.532
871 R AM VH	49.00	18.00	24.00	7.00	21.50	27.50	0.439	0.561
871 L AM VH	49.00	19.00	23.00	7.00	22.50	26.50	0.459	0.541
875 R AM VH	46.00	16.00	23.00	7.00	19.50	26.50	0.424	0.576
875 L AM VH	45.00	17.00	21.00	7.00	20.50	24.50	0.456	0.544
904 R AM VH	54.00	20.00	25.50	8.50	24.25	29.75	0.449	0.551
904 L AM VH	54.00	20.50	26.00	7.50	24.25	29.75	0.449	0.551
923 R AM VH	52.50	21.50	25.50	5.50	24.25	28.25	0.462	0.538
923 L AM VH	52.50	21.00	26.00	5.50	23.75	28.75	0.452	0.548
928 R AM VH	44.00	17.00	20.50	6.50	20.25	23.75	0.460	0.540
928 L AM VH	44.00	17.00	21.00	6.00	20.00	24.00	0.455	0.545
929 R AM VH	48.00	19.00	23.00	6.00	22.00	26.00	0.458	0.542
929 L AM VH	47.50	18.00	22.50	7.00	21.50	26.00	0.453	0.547
932 L AM VH	51.50	19.00	26.00	6.50	22.25	29.25	0.432	0.568
933 R AM VH	51.00	20.00	23.00	8.00	24.00	27.00	0.471	0.529
933 L AM VH	52.00	20.00	24.00	8.00	24.00	28.00	0.462	0.538
<i>Mittelwert</i>	<i>49.20</i>	<i>18.80</i>	<i>23.65</i>	<i>6.75</i>	<i>22.18</i>	<i>27.03</i>	<b><i>0.451</i></b>	<b><i>0.549</i></b>
<i>Maximum</i>	<i>54.00</i>	<i>21.50</i>	<i>27.50</i>	<i>8.50</i>	<i>24.25</i>	<i>30.00</i>	<b><i>0.471</i></b>	<b><i>0.576</i></b>
<i>Minimum</i>	<i>44.00</i>	<i>16.00</i>	<i>20.50</i>	<i>5.00</i>	<i>19.50</i>	<i>23.75</i>	<b><i>0.424</i></b>	<b><i>0.529</i></b>
<i>Median</i>	<i>49.00</i>	<i>19.00</i>	<i>23.00</i>	<i>7.00</i>	<i>22.13</i>	<i>26.75</i>	<b><i>0.454</i></b>	<b><i>0.546</i></b>
<i>Standardabweichung</i>	<i>3.38</i>	<i>1.54</i>	<i>2.19</i>	<i>0.97</i>	<i>1.55</i>	<i>2.08</i>	<b><i>0.013</i></b>	<b><i>0.013</i></b>

**Tabelle 9 :** Zusammenfassung der Messwerte des AMVH-Ansatzes in den anteroposterioren Röntgenaufnahmen.

	ef (mm)	VII (mm)	VIII (mm)	IX (mm)	X (mm)	XI (mm)	X/ef	XI/ef
<b>837 R AM VH</b>	28.00	8.00	16.00	4.00	10.00	18.00	0.357	0.643
<b>837 L AM VH</b>	28.50	8.00	14.50	6.00	11.00	17.50	0.386	0.614
<b>868 R AM VH</b>	31.00	9.00	17.00	5.00	11.50	19.50	0.371	0.629
<b>868 L AM VH</b>	33.00	10.50	18.00	4.50	12.75	20.25	0.386	0.614
<b>869 R AM VH</b>	31.00	9.50	15.50	6.00	12.50	18.50	0.403	0.597
<b>871 R AM VH</b>	30.00	9.00	13.50	7.50	12.75	17.25	0.425	0.575
<b>871 L AM VH</b>	30.00	8.00	13.00	9.00	12.50	17.50	0.417	0.583
<b>875 R AM VH</b>	29.00	9.00	12.50	7.50	12.75	16.25	0.440	0.560
<b>875 L AM VH</b>	30.00	9.00	11.50	9.50	13.75	16.25	0.458	0.542
<b>904 R AM VH</b>	36.00	10.00	18.00	8.00	14.00	22.00	0.389	0.611
<b>904 L AM VH</b>	35.00	10.00	17.00	8.00	14.00	21.00	0.400	0.600
<b>923 R AM VH</b>	35.50	10.00	14.50	11.00	15.50	20.00	0.437	0.563
<b>923 L AM VH</b>	36.00	9.00	14.00	13.00	15.50	20.50	0.431	0.569
<b>928 R AM VH</b>	28.50	7.50	9.00	12.00	13.50	15.00	0.474	0.526
<b>928 L AM VH</b>	29.00	7.50	10.50	11.00	13.00	16.00	0.448	0.552
<b>929 R AM VH</b>	31.00	8.50	12.00	10.50	13.75	17.25	0.444	0.556
<b>929 L AM VH</b>	31.50	8.00	13.00	10.50	13.25	18.25	0.421	0.579
<b>932 L AM VH</b>	32.00	6.50	13.00	12.50	12.75	19.25	0.398	0.602
<b>933 R AM VH</b>	32.00	8.50	12.00	11.50	14.25	17.75	0.445	0.555
<b>933 L AM VH</b>	31.50	9.00	12.00	10.50	14.25	17.25	0.452	0.548
<b>Mittelwert</b>	<i>31.43</i>	<i>8.73</i>	<i>13.83</i>	<i>8.88</i>	<i>13.16</i>	<i>18.26</i>	<b>0.419</b>	<b>0.581</b>
<b>Maximum</b>	<i>36.00</i>	<i>10.50</i>	<i>18.00</i>	<i>13.00</i>	<i>15.50</i>	<i>22.00</i>	<b>0.474</b>	<b>0.643</b>
<b>Minimum</b>	<i>28.00</i>	<i>6.50</i>	<i>9.00</i>	<i>4.00</i>	<i>10.00</i>	<i>15.00</i>	<b>0.357</b>	<b>0.526</b>
<b>Median</b>	<i>31.00</i>	<i>9.00</i>	<i>13.25</i>	<i>9.25</i>	<i>13.13</i>	<i>17.88</i>	<b>0.423</b>	<b>0.577</b>
<b>Standardabweichung</b>	<i>2.53</i>	<i>1.01</i>	<i>2.48</i>	<i>2.75</i>	<i>1.35</i>	<i>1.84</i>	<b>0.032</b>	<b>0.032</b>

**Tabelle 10 :** Zusammenfassung der Messwerte des AMVH-Ansatzes in den seitlichen Röntgenaufnahmen.

	ab (mm)	VI (mm)	IV (mm)	IV/VI	VI/ab	ef (mm)	XII (mm)	X (mm)	X/XII	XII/ef
837 R AM VH	46.00	22.00	21.00	0.955	0.478	28.00	16.00	11.00	0.688	0.571
837 L AM VH	46.00	22.00	20.75	0.943	0.478	28.50	17.50	11.00	0.629	0.614
868 R AM VH	52.50	23.00	22.75	0.989	0.438	31.00	19.00	12.50	0.658	0.613
868 L AM VH	52.50	23.00	22.50	0.978	0.438	33.00	20.00	13.00	0.650	0.606
869 R AM VH	47.00	21.00	22.00	1.048	0.447	31.00	18.50	12.00	0.649	0.597
871 R AM VH	49.00	20.50	21.50	1.049	0.418	30.00	20.50	13.00	0.634	0.683
871 L AM VH	49.00	23.00	22.50	0.978	0.469	30.00	18.50	11.50	0.622	0.617
875 R AM VH	46.00	20.00	19.50	0.975	0.435	29.00	20.00	13.00	0.650	0.690
875 L AM VH	45.00	20.00	20.50	1.025	0.444	30.00	20.00	14.00	0.700	0.667
904 R AM VH	54.00	25.50	24.25	0.951	0.472	36.00	21.00	13.50	0.643	0.583
904 L AM VH	54.00	23.50	24.25	1.032	0.435	35.00	21.00	14.00	0.667	0.600
923 R AM VH	52.50	25.00	24.25	0.970	0.476	35.50	21.50	14.50	0.674	0.606
923 L AM VH	52.50	23.50	23.75	1.011	0.448	36.00	21.00	13.50	0.643	0.583
928 R AM VH	44.00	20.50	20.25	0.988	0.466	28.50	18.50	11.50	0.622	0.649
928 L AM VH	44.00	18.50	20.00	1.081	0.420	29.00	18.00	11.00	0.611	0.621
929 R AM VH	48.00	22.00	22.00	1.000	0.458	31.00	19.50	12.50	0.641	0.629
929 L AM VH	47.50	20.50	21.50	1.049	0.432	31.50	19.00	12.00	0.632	0.603
932 L AM VH	51.50	21.00	22.25	1.060	0.408	32.00	20.00	11.50	0.575	0.625
933 R AM VH	51.00	21.00	24.00	1.143	0.412	32.00	21.00	14.00	0.667	0.656
933 L AM VH	52.00	21.50	24.00	1.116	0.413	31.50	22.00	13.50	0.614	0.698
<i>Mittelwert</i>	49.20	21.85	22.18	<b>1.017</b>	<b>0.444</b>	31.43	19.63	12.63	<b>0.643</b>	<b>0.626</b>
<i>Maximum</i>	54.00	25.50	24.25	<b>1.143</b>	<b>0.478</b>	36.00	22.00	14.50	<b>0.700</b>	<b>0.698</b>
<i>Minimum</i>	44.00	18.50	19.50	<b>0.943</b>	<b>0.408</b>	28.00	16.00	11.00	<b>0.575</b>	<b>0.571</b>
<i>Median</i>	49.00	21.75	22.13	<b>1.005</b>	<b>0.441</b>	31.00	20.00	12.75	<b>0.643</b>	<b>0.615</b>
<i>Standardabweichung</i>	3.38	1.76	1.55	<b>0.055</b>	<b>0.023</b>	2.53	1.50	1.13	<b>0.029</b>	<b>0.037</b>

**Tabelle 11 :** Zusammenfassung der Messwerte des AMVH-Ansatzes in Relation zum lateralen Tuberculum und des lateralen Tuberculum in Relation zum Tibiaplateau.

	ab (mm)	I' (mm)	II' (mm)	III' (mm)	IV' (mm)	V' (mm)	IV'/ab	V'/ab
<b>837 R AM HH</b>	46.00	19.50	20.00	6.50	22.75	23.25	0.495	0.505
<b>837 L AM HH</b>	46.00	19.00	21.00	6.00	22.00	24.00	0.478	0.522
<b>868 R AM HH</b>	52.50	22.00	23.00	7.50	25.75	26.75	0.490	0.510
<b>868 L AM HH</b>	52.50	21.50	24.00	7.00	25.00	27.50	0.476	0.524
<b>869 R AM HH</b>	47.00	18.00	22.00	7.00	21.50	25.50	0.457	0.543
<b>871 R AM HH</b>	49.00	22.00	21.00	6.00	25.00	24.00	0.510	0.490
<b>871 L AM HH</b>	49.00	21.00	21.50	6.50	24.25	24.75	0.495	0.505
<b>875 R AM HH</b>	46.00	21.00	19.00	6.00	24.00	22.00	0.522	0.478
<b>875 L AM HH</b>	45.00	20.00	19.00	6.00	23.00	22.00	0.511	0.489
<b>904 R AM HH</b>	54.00	23.00	23.00	8.00	27.00	27.00	0.500	0.500
<b>904 L AM HH</b>	54.00	22.00	24.00	8.00	26.00	28.00	0.481	0.519
<b>923 R AM HH</b>	52.50	25.00	20.00	7.50	28.75	23.75	0.548	0.452
<b>923 L AM HH</b>	52.50	24.00	22.50	6.00	27.00	25.50	0.514	0.486
<b>928 R AM HH</b>	44.00	17.00	18.50	8.50	21.25	22.75	0.483	0.517
<b>928 L AM HH</b>	44.00	19.50	18.50	6.00	22.50	21.50	0.511	0.489
<b>929 R AM HH</b>	48.00	20.50	20.50	7.00	24.00	24.00	0.500	0.500
<b>929 L AM HH</b>	47.50	20.00	19.00	8.50	24.25	23.25	0.511	0.489
<b>932 L AM HH</b>	51.50	22.50	23.00	6.00	25.50	26.00	0.495	0.505
<b>933 R AM HH</b>	51.00	21.00	21.50	8.50	25.25	25.75	0.495	0.505
<b>933 L AM HH</b>	52.00	21.50	22.00	8.50	25.75	26.25	0.495	0.505
<b>Mittelwert</b>	<i>49.20</i>	<i>21.00</i>	<i>21.15</i>	<i>7.05</i>	<i>24.53</i>	<i>24.68</i>	<b>0.498</b>	<b>0.502</b>
<b>Maximum</b>	<i>54.00</i>	<i>25.00</i>	<i>24.00</i>	<i>8.50</i>	<i>28.75</i>	<i>28.00</i>	<b>0.548</b>	<b>0.543</b>
<b>Minimum</b>	<i>44.00</i>	<i>17.00</i>	<i>18.50</i>	<i>6.00</i>	<i>21.25</i>	<i>21.50</i>	<b>0.457</b>	<b>0.452</b>
<b>Median</b>	<i>49.00</i>	<i>21.00</i>	<i>21.25</i>	<i>7.00</i>	<i>24.63</i>	<i>24.38</i>	<b>0.495</b>	<b>0.505</b>
<b>Standardabweichung</b>	<i>3.38</i>	<i>1.93</i>	<i>1.79</i>	<i>1.00</i>	<i>1.97</i>	<i>1.92</i>	<b>0.019</b>	<b>0.019</b>

**Tabelle 12 :** Zusammenfassung der Messwerte des AMHH-Ansatzes in den anteroposterioren Röntgenaufnahmen.



	ef (mm)	VII' (mm)	VIII' (mm)	IX' (mm)	X' (mm)	XI' (mm)	X'/ef	XI'/ef
<b>837 R AM HH</b>	28.00	18.00	5.00	5.00	20.50	7.50	0.732	0.268
<b>837 L AM HH</b>	28.50	17.50	6.00	5.00	20.00	8.50	0.702	0.298
<b>868 R AM HH</b>	31.00	17.00	6.50	7.50	20.75	10.25	0.669	0.331
<b>868 L AM HH</b>	33.00	18.00	6.00	9.00	22.50	10.50	0.682	0.318
<b>869 R AM HH</b>	31.00	19.00	6.50	5.50	21.75	9.25	0.702	0.298
<b>871 R AM HH</b>	30.00	19.00	5.00	6.00	22.00	8.00	0.733	0.267
<b>871 L AM HH</b>	30.00	20.00	5.00	5.00	22.50	7.50	0.750	0.250
<b>875 R AM HH</b>	29.00	19.00	5.00	5.00	21.50	7.50	0.741	0.259
<b>875 L AM HH</b>	30.00	17.00	6.00	7.00	20.50	9.50	0.683	0.317
<b>904 R AM HH</b>	36.00	24.00	6.00	6.00	27.00	9.00	0.750	0.250
<b>904 L AM HH</b>	35.00	22.00	5.50	7.50	25.75	9.25	0.736	0.264
<b>923 R AM HH</b>	35.50	22.00	6.00	7.50	25.75	9.75	0.725	0.275
<b>923 L AM HH</b>	36.00	22.00	6.00	8.00	26.00	10.00	0.722	0.278
<b>928 R AM HH</b>	28.50	19.00	6.00	3.50	20.75	7.75	0.728	0.272
<b>928 L AM HH</b>	29.00	17.50	4.00	7.50	21.25	7.75	0.733	0.267
<b>929 R AM HH</b>	31.00	19.00	6.00	6.00	22.00	9.00	0.710	0.290
<b>929 L AM HH</b>	31.50	19.00	5.00	7.50	22.75	8.75	0.722	0.278
<b>932 L AM HH</b>	32.00	19.50	5.00	7.50	23.25	8.75	0.727	0.273
<b>933 R AM HH</b>	32.00	19.00	4.00	9.00	23.50	8.50	0.734	0.266
<b>933 L AM HH</b>	31.50	19.00	3.50	9.00	23.50	8.00	0.746	0.254
<i>Mittelwert</i>	<i>31.43</i>	<i>19.33</i>	<i>5.40</i>	<i>6.70</i>	<i>22.68</i>	<i>8.75</i>	<b><i>0.721</i></b>	<b><i>0.279</i></b>
<i>Maximum</i>	<i>36.00</i>	<i>24.00</i>	<i>6.50</i>	<i>9.00</i>	<i>27.00</i>	<i>10.50</i>	<b><i>0.750</i></b>	<b><i>0.331</i></b>
<i>Minimum</i>	<i>28.00</i>	<i>17.00</i>	<i>3.50</i>	<i>3.50</i>	<i>20.00</i>	<i>7.50</i>	<b><i>0.669</i></b>	<b><i>0.250</i></b>
<i>Median</i>	<i>31.00</i>	<i>19.00</i>	<i>5.75</i>	<i>7.25</i>	<i>22.25</i>	<i>8.75</i>	<b><i>0.727</i></b>	<b><i>0.273</i></b>
<i>Standardabweichung</i>	<i>2.53</i>	<i>1.86</i>	<i>0.85</i>	<i>1.56</i>	<i>2.05</i>	<i>0.95</i>	<b><i>0.023</i></b>	<b><i>0.023</i></b>

**Tabelle 13 :** Zusammenfassung der Messwerte des AMHH-Ansatzes in den seitlichen Röntgenaufnahmen.

	ab (mm)	VI (mm)	IV' (mm)	IV'/VI	VI/ab	ef (mm)	XII (mm)	X' (mm)	X'/XII	XII/ef
837 R AM HH	46.00	22.00	23.00	1.045	0.478	28.00	16.00	20.00	1.250	0.571
837 L AM HH	46.00	22.00	22.50	1.023	0.478	28.50	17.50	20.00	1.143	0.614
868 R AM HH	52.50	23.00	25.50	1.109	0.438	31.00	19.00	21.00	1.105	0.613
868 L AM HH	52.50	23.00	24.00	1.043	0.438	33.00	20.00	21.00	1.050	0.606
869 R AM HH	47.00	21.00	21.50	1.024	0.447	31.00	18.50	22.00	1.189	0.597
871 R AM HH	49.00	20.50	25.00	1.220	0.418	30.00	20.50	22.00	1.073	0.683
871 L AM HH	49.00	23.00	23.50	1.022	0.469	30.00	18.50	22.00	1.189	0.617
875 R AM HH	46.00	20.00	23.00	1.150	0.435	29.00	20.00	21.50	1.075	0.690
875 L AM HH	45.00	20.00	22.00	1.100	0.444	30.00	20.00	21.00	1.050	0.667
904 R AM HH	54.00	25.50	27.00	1.059	0.472	36.00	21.00	27.00	1.286	0.583
904 L AM HH	54.00	23.50	26.00	1.106	0.435	35.00	21.00	25.00	1.190	0.600
923 R AM HH	52.50	25.00	29.00	1.160	0.476	35.50	21.50	24.00	1.116	0.606
923 L AM HH	52.50	23.50	28.00	1.191	0.448	36.00	21.00	24.00	1.143	0.583
928 R AM HH	44.00	20.50	21.50	1.049	0.466	28.50	18.50	20.00	1.081	0.649
928 L AM HH	44.00	18.50	22.50	1.216	0.420	29.00	18.00	19.50	1.083	0.621
929 R AM HH	48.00	22.00	24.00	1.091	0.458	31.00	19.50	20.00	1.026	0.629
929 L AM HH	47.50	20.50	25.00	1.220	0.432	31.50	19.00	21.50	1.132	0.603
932 L AM HH	51.50	21.00	26.00	1.238	0.408	32.00	20.00	22.50	1.125	0.625
933 R AM HH	51.00	21.00	25.00	1.190	0.412	32.00	21.00	23.00	1.095	0.656
933 L AM HH	52.00	21.50	26.00	1.209	0.413	31.50	22.00	23.00	1.045	0.698
<i>Mittelwert</i>	49.20	21.85	24.50	<b>1.123</b>	<b>0.444</b>	31.43	19.63	22.00	<b>1.122</b>	<b>0.626</b>
<i>Maximum</i>	54.00	25.50	29.00	<b>1.238</b>	<b>0.478</b>	36.00	22.00	27.00	<b>1.286</b>	<b>0.698</b>
<i>Minimum</i>	44.00	18.50	21.50	<b>1.022</b>	<b>0.408</b>	28.00	16.00	19.50	<b>1.026</b>	<b>0.571</b>
<i>Median</i>	49.00	21.75	24.50	<b>1.108</b>	<b>0.441</b>	31.00	20.00	21.75	<b>1.111</b>	<b>0.615</b>
<i>Standardabweichung</i>	3.38	1.76	2.12	<b>0.077</b>	<b>0.023</b>	2.53	1.50	1.92	<b>0.070</b>	<b>0.037</b>

**Tabelle 14:** Zusammenfassung der Messwerte des AMHH-Ansatzes in Relation zum lateralen Tuberculum und des lateralen Tuberculum in Relation zum Tibiplateau.

## **8. Literaturverzeichnis**

1. Aagaard H, Verdonk R.  
Function of the normal meniscus and consequences of meniscal resection.  
Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):134-40. Review.
  
2. Aagaard H, Jorgensen U, Bojsen-Moller F.  
Reduced degenerative articular cartilage changes after meniscal allograft transplantation in sheep.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1999;7(3):184-91.
  
3. Aglietti P, Bertini FA, Buzzi R, Beraldi R.  
Arthroscopic meniscectomy for discoid lateral meniscus in children and adolescents: 10-year follow-up.  
Am J Knee Surg. 1999 Spring;12(2):83-7.
  
4. Alhalki MM, Hull ML, Howell SM. Contact mechanics of the medial tibial plateau after implantation of a medial meniscal allograft. A human cadaveric study. Am J Sports Med. 2000 May-Jun;28(3):370-6.
  
5. Allen PR, Denham RA, Swan AV.  
Late degenerative changes after meniscectomy. Factors affecting the knee after operation.  
J Bone Joint Surg Br. 1984 Nov;66(5):666-71.
  
6. Andersson-Molina H, Karlsson H, Rockborn P.  
Arthroscopic partial and total meniscectomy: A long-term follow-up study with matched controls.  
Arthroscopy. 2002 Feb;18(2):183-9.

7. Andrish JT.

Meniscal Injuries in Children and Adolescents: Diagnosis and Management.

J Am Acad Orthop Surg. 1996 Oct;4(5):231-237.

8. Appel H

Late results after meniscectomy in the knee joint: A clinical and roentgenographic follow-up investigation.

Acta Orthop Scand. 1970 Suppl 133, 1-111.

9. Arnoczky SP, Warren RF, McDevitt CA.

Meniscal replacement using a cryopreserved allograft. An experimental study in the dog.

Clin Orthop. 1990 Mar;(252):121-8.

10. Arnoczky SP, DiCarlo EF, O'Brien SJ, Warren RF.

Cellular repopulation of deep-frozen meniscal autografts: an experimental study in the dog.

Arthroscopy. 1992;8(4):428-36.

11. Ayrar X, Bonvarlet JP, Simonnet J, Auleley GR, Dougados M, Ravaud P.

Influence of medial meniscectomy on tibiofemoral joint space width.

Osteoarthritis Cartilage. 2003 Apr;11(4):285-9.

12. Baratz ME, Fu FH, Mengato R.

Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intraarticular contact areas and stress in the human knee. A preliminary report.

Am J Sports Med. 1986 Jul-Aug;14(4):270-5.

13. Barker SL, McNicholas MJ, Kader D, Abdon P, Adalberth T, McGurty D, Rowley DI, Walker CM.

Meniscal regeneration in the long-term after total meniscectomy?

J R Coll Surg Edinb. 1998 Dec;43(6):400-3.

14. Bergstrom R, Hamberg P, Lysholm J, Gillquist J.

Comparison of open and endoscopic meniscectomy.

Clin Orthop. 1984 Apr;(184):133-6.

15. Berlet GC, Fowler PJ. The anterior horn of the medial meniscus. An anatomic study of its insertion. Am J Sports Med. 1998 Jul-Aug;26(4):540-3.

16. Bonneux I, Vandekerckhove B.

Arthroscopic partial lateral meniscectomy long-term results in athletes.

Acta Orthop Belg. 2002 Oct;68(4):356-61.

17. Boszotta H, Helperstorfer W, Kolindorfer G, Prunner K, Ohrenberger G.

[Long-term results of arthroscopic meniscectomy]

Aktuelle Traumatol. 1994 Feb;24(1):30-4. German.

18. Bruns J, Kahrs J, Kampen J, Behrens P, Plitz W.

Autologous perichondral tissue for meniscal replacement.

J Bone Joint Surg Br. 1998 Sep;80(5):918-23.

19. Burr DB, Radin EL.

Meniscal function and the importance of meniscal regeneration in preventing late medial compartment osteoarthritis.

Clin Orthop. 1982 Nov-Dec;(171):121-6.

20. Cameron JC, Saha S.  
Meniscal allograft transplantation for unicompartmental arthritis of the knee.  
Clin Orthop. 1997 Apr;(337):164-71.
21. Canham W, Stanish W.  
A study of the biological behavior of the meniscus as a transplant in the  
medial compartment of a dog's knee.  
Am J Sports Med. 1986 Sep-Oct;14(5):376-9.
22. Cave EF  
Internal derangements of the knee.  
JAMA. 1947. 135:827-835.
23. Chatain F, Adeleine P, Chambat P, Neyret P; Societe Francaise  
d'Arthroscopie.  
A comparative study of medial versus lateral arthroscopic partial meniscectomy  
on stable knees: 10-year minimum follow-up.  
Arthroscopy. 2003 Oct;19(8):842-9. Review.
24. Chen MI, Branch TP, Hutton WC. Is it important to secure the horns during lateral  
meniscal transplantation? A cadaveric study. Arthroscopy. 1996 Apr;12(2):174-81.
25. Cole BJ, Carter TR, Rodeo SA.  
Allograft meniscal transplantation: background, techniques, and results.  
Instr Course Lect. 2003;52:383-96. Review.
26. Covall DJ, Wasilewski SA.  
Roentgenographic changes after arthroscopic meniscectomy: five-year follow-up  
in patients more than 45 years old.  
Arthroscopy. 1992;8(2):242-6.

27. Cox JS, Nye CE, Schaefer WW.

The degenerative effects of partial and total resection of the medial meniscus in dogs' knees.

Clin Orthop. 1975; 109: 178-183.

28. Cummins JF, Mansour JN, Howe Z, Allan DG.

Meniscal transplantation and degenerative articular change: an experimental study in the rabbit.

Arthroscopy. 1997 Aug;13(4):485-91.

29. Dandy DJ, Jackson RW.

The diagnosis of problems after meniscectomy.

J Bone Joint Surg Br. 1975 ; 57 :349-52.

30. Dandy DJ.

Early results of closed partial meniscectomy.

Br Med J. 1978 Apr 29;1(6120):1099-1100.

31. Davidson D, Letts M, Glasgow R.

Discoid meniscus in children: treatment and outcome.

Can J Surg. 2003 Oct;46(5):350-8.

32. Dahlberg G (1940). Statistical methods for medical and biological students. New York: Wiley Interscience.

33. Debeer P, Decorte R, Delvaux S, Bellemans J.

DNA analysis of a transplanted cryopreserved meniscal allograft.

Arthroscopy. 2000 Jan-Feb;16(1):71-5.

34. Englund M, Roos EM, Lohmander LS.  
Impact of type of meniscal tear on radiographic and symptomatic knee osteoarthritis: a sixteen-year followup of meniscectomy with matched controls. *Arthritis Rheum.* 2003 Aug;48(8):2178-87.
35. Englund M, Roos EM, Roos HP, Lohmander LS.  
Patient-relevant outcomes fourteen years after meniscectomy: influence of type of meniscal tear and size of resection. *Rheumatology (Oxford).* 2001 Jun;40(6):631-9.
36. Fairbank TJ.  
Knee joint changes after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Br.* 1948 ; 30 : 664-670.
37. Ferkel RD, Davis JR, Friedman MJ.  
Arthroscopic partial medial meniscectomy: An analysis of unsatisfactory results. *Arthroscopy.* 1985; 1: 44-52.
38. Fukubayashi T, Kurosawa H.  
The contact area and pressure distribution pattern of the knee. A study of normal and osteoarthrotic knee joints. *Acta Orthop Scand.* 1980 Dec;51(6):871-9.
39. Garrett JC, Steensen RN, Stevensen RN.  
Meniscal transplantation in the human knee: a preliminary report. *Arthroscopy.* 1991;7(1):57-62. Erratum in: *Arthroscopy* 1991;7(2):256. Stevensen RN[corrected to Steensen RN].
40. Goble EM, Kohn D, Verdonk R, Kane SM. Meniscal substitutes--human experience. *Scand J Med Sci Sports.* 1999 Jun;9(3):146-57.



41. Goble EM, Verdonk R, Kohn D. Arthroscopic and open surgical techniques for meniscus replacement--meniscal allograft transplantation and tendon autograft transplantation. *Scand J Med Sci Sports*. 1999 Jun;9(3):168-76.
42. Greis PE, Holmstrom MC, Bardana DD, Burks RT.  
Meniscal injury: II. Management.  
*J Am Acad Orthop Surg*. 2002 May-Jun;10(3):177-87. Review.
43. Hamlet W, Liu SH, Yang R.  
Destruction of a cryopreserved meniscal allograft: a case for acute rejection.  
*Arthroscopy*. 1997 Aug;13(4):517-21. Review.
44. Howell JR, Handoll HH.  
Surgical treatment for meniscal injuries of the knee in adults.  
*Cochrane Database Syst Rev*. 2000;(2):CD001353. Review.
45. Hulet CH, Locker BG, Schiltz D, Texier A, Tallier E, Vielpeau CH.  
Arthroscopic medial meniscectomy on stable knees.  
*J Bone Joint Surg Br*. 2001 Jan;83(1):29-32.
46. Ibarra C, Jannetta C, Vacanti CA, Cao Y, Kim TH, Upton J, Vacanti JP.  
Tissue engineered meniscus: a potential new alternative to allogeneic meniscus transplantation.  
*Transplant Proc*. 1997 Feb-Mar;29(1-2):986-8.
47. Jackson DW, Whelan J, Simon TM.  
Cell survival after transplantation of fresh meniscal allografts. DNA probe analysis in a goat model.  
*Am J Sports Med*. 1993 Jul-Aug;21(4):540-50.

48. Jackson DW, McDevitt CA, Simon TM, Arnoczky SP, Atwell EA, Silvino NJ. Meniscal transplantation using fresh and cryopreserved allografts. An experimental study in goats. *Am J Sports Med.* 1992 Nov-Dec;20(6):644-56.
49. Jackson JP. Degenerative changes in the knee after meniscectomy. *Br Med J.* 1968 Jun 1;2(604):525-7.
50. Jackson JP, Waugh W, Green JP. High tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1969 Feb 1;51(1):88-94.
51. Johnson DL, Swenson TM, Livesay GA, Aizawa H, Fu FH, Harner CD. Insertion-site anatomy of the human menisci: gross, arthroscopic, and topographical anatomy as a basis for meniscal transplantation. *Arthroscopy.* 1995 Aug;11(4):386-94.
52. Johnson LL, Feagin JA Jr. Autogenous tendon graft substitution for absent knee joint meniscus: a pilot study. *Arthroscopy.* 2000 Mar;16(2):191-6.
53. Johnson RJ, Kettlekamp DB, Clark W. Factors affecting late results after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 1974; 56, 719-29.
54. Johnson TC, Evans JA, Gilley JA, DeLee JC. Osteonecrosis of the knee after arthroscopic surgery for meniscal tears and chondral lesions. *Arthroscopy.* 2000 Apr;16(3):254-61.

55. Jones RE, Smith EC, Reisch JS.  
Effects of medial meniscectomy in patients older than forty years.  
J Bone Joint Surg Am. 1978; 60: 783-6.
56. Jorgensen U, Sonne-Holm S, Lauridsen F.  
Long-term follow-up of meniscectomy in athletes.  
J Bone Joint Surg Br. 1987 ; 69 : 80-83.
57. Kelly BT, Brophy RH, Rodeo SA.  
Meniscal allograft transplantation: Surgical technique.  
Techniques in Knee Surgery 2004. 3 (1):8-18.
58. King D.  
The healing of semilunar cartilages.  
J Bone Joint Surg Am. 1936; 18: 333-342.
59. Klimkiewicz JJ, Shaffer B.  
Meniscal surgery 2002 update: Indications and techniques for resection, repair, regeneration and replacement.  
Arthroscopy 2002. Nov-Dec, Suppl 2; 18(9):14-25.
60. Kohn D, Wirth CJ, Reiss G, Plitz W, Maschek H, Erhardt W, Wulker N.  
Medial meniscus replacement by a tendon autograft. Experiments in sheep.  
J Bone Joint Surg Br. 1992 Nov;74(6):910-7.
61. Kohn D.  
Autograft meniscus replacement: experimental and clinical results.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1993;1(2):123-5.
62. Kohn D. Meniskusersatz. Orthopade. 1994 Apr;23(2):164-70.

63. Kohn D, Moreno B. Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement. A morphologic cadaver study. *Arthroscopy* 11: 96-103, 1995
64. Kohn D, Rudert M, Wirth CJ, Plitz W, Reiss G, Maschek H.  
Medial meniscus replacement by a fat pad autograft. An experimental study in sheep.  
*Int Orthop.* 1997;21(4):232-8.
65. Kohn D. Meniscus transplantation should not be combined with correction of instability/ deformity/ cartilage defects. A personal view. *Scand J Med Sci Sports.* 1999 Jun;9(3):185.
66. Kohn D, Verdonk R, Aagaard H, Seil R, Dienst M. Meniscal substitutes--animal experience. *Scand J Med Sci Sports.* 1999 Jun;9(3):141-5.
68. Kohn D, Aagaard H, Verdonk R, Dienst M, Seil R.  
Postoperative follow-up and rehabilitation after meniscus replacement.  
*Scand J Med Sci Sports.* 1999 Jun;9(3):177-80.
69. Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG.  
Mechanical changes in the knee after meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Am.* 1976 Jul;58(5):599-604.
70. Krogsgaard M.  
Meniscus replacement--is it really necessary?  
*Scand J Med Sci Sports.* 1999 Jun;9(3):129-30.
71. Kuhn JE, Wojtys EM.  
Allograft meniscus transplantation.  
*Clin Sports Med.* 1996 Jul;15(3):537-6. Review.

72. Lazovic D, Wirth CJ, Sieg A, Gosse F, Maschek HG. [Effect of surgical technique on meniscus transplants. A histological, animal experiment study]. Unfallchirurg. 1997 Jul;100(7):541-6.

73. Lazovic D, Wirth CJ, Knosel T, Gosse F, Maschek HG. [Meniscus replacement using incongruent transplants--an experimental study]. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1997 Mar-Apr;135(2):131-7.

74. Lecumberri J, Diaz De Rada M, Santamaria M.  
[Study of meniscal regeneration following total meniscectomy and the replacement of meniscus by different autologous plasties]  
An Sist Sanit Navar. 1997 May;20(2):165-74.

75. Lintner DM, Dewitt SE, Moseley JB  
Radiographic evaluation of native anterior cruciate ligament attachments and graft placement for reconstruction. A cadaveric study.  
Am J Sports Med. 1996 Jan-Feb;24(1):72-8.

76. Lotke PA, Lefkoe RT, Ecker ML.  
Late results following medial meniscectomy in an older population.  
J Bone Joint Surg Am. 1981 Jan;63(1):115-9.

77. McNicholas MJ, Rowley DI, McGurty D, Adalberth T, Abdon P, Lindstrand A, Lohmander LS.  
Total meniscectomy in adolescence. A thirty-year follow-up.  
J Bone Joint Surg Br. 2000 Mar;82(2):217-21.

78. Menetrey J, Jones DG, Ernlund LS, Fu FH.  
Posterior peripheral sutures in meniscal allograft replacement.  
Arthroscopy. 1999 Sep;15(6):663-8.

79. Menetrey J, Siegrist O, Fritschy D.

Medial meniscectomy in patients over the age of fifty: a six year follow-up study.

Swiss Surg. 2002;8(3):113-9.

80. Messner K.

Meniscal substitution with a Teflon-periosteal composite graft: a rabbit experiment.

Biomaterials. 1994 Feb;15(3):223-30.

81. Mikic ZD, Brankov MZ, Tubic MV, Lazetic AB.

Allograft meniscus transplantation in the dog.

Acta Orthop Scand. 1993 Jun;64(3):329-32.

82. Mikic ZD, Brankov MZ, Tubic MV, Lazetic AB.

Transplantation of fresh-frozen menisci: an experimental study in dogs.

Arthroscopy. 1997 Oct;13(5):579-83.

83. Milachowski KA, Weismeier K, Erhardt W, Remberger K. [Meniscus transplantation--animal experiment study]. Sportverletz Sportschaden. 1987 Apr;1(1):20-4.

84. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ.

Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results.

Int Orthop. 1989;13(1):1-11.

85. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ, Kohn D.

[Meniscus transplantation and anterior cruciate ligament replacement--results 2-4 years postoperative]

Sportverletz Sportschaden. 1990 Jun;4(2):73-8. German.

86. Milachowski KA, Kohn D, Wirth CJ.  
[Meniscus replacement using Hoffa's infrapatellar fat bodies--initial clinical results]  
Unfallchirurgie. 1990 Aug;16(4):190-5. German.
87. Milachowski KA, Kohn D, Wirth CJ.  
[Transplantation of allogeneic menisci]  
Orthopäde. 1994 Apr;23(2):160-3. German.
88. Mizuta H, Nakamura E, Otsuka Y, Kudo S, Takagi K.  
Osteochondritis dissecans of the lateral femoral condyle following total resection of the discoid lateral meniscus.  
Arthroscopy. 2001 Jul;17(6):608-12.
89. Noble J, Erat K.  
In defence of the meniscus. A prospective study of 200 meniscectomy patients.  
J Bone Joint Surg Br. 1980 Feb;62-B(1):7-11.
90. Ogut T, Kesmezacar H, Akgun I, Cansu E.  
Arthroscopic meniscectomy for discoid lateral meniscus in children and adolescents: 4.5 year follow-up.  
J Pediatr Orthop B. 2003 Nov;12(6):390-7.
91. Paletta GA, Manning T, Snell E. The effects of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee: a biomechanical study. Am J Sports Med 25: 692-698, 1997.
92. Pape D, Seil R, Adam F, Rupp S, Kohn D, Lobenhoffer P.  
Bildgebung und präoperative Planung der Tibiakopffosteotomie.  
Der Orthopäde. 2003; 33(2): 122-134.

93. Pollard ME, Kang Q, Berg EE. Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy*. 1995 Dec;11(6):684-7.
94. Racanelli JA, Drez D Jr.  
Posterior cruciate ligament tibial attachment anatomy and radiographic landmarks for tibial tunnel placement in PCL reconstruction. *Arthroscopy*. 1994 Oct;10(5):546-9.
95. Rockborn P, Hamberg P, Gillquist J.  
Arthroscopic meniscectomy: treatment costs and postoperative function in a historical perspective. *Acta Orthop Scand*. 2000 Oct;71(5):455-60.
96. Rodeo SA, Seneviratne A, Suzuki K, Felker K, Wickiewicz TL, Warren RF.  
Histological analysis of human meniscal allografts. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 2000 Aug;82-A(8):1071-82.
97. Rodeo SA. Meniscal allografts--where do we stand? *Am J Sports Med*. 2001 Mar-Apr;29(2):246-61.
98. Rupp S. in *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Knie*. Kohn D. Thieme 2005.
99. Scheller G, Sobau C, Bulow JU.  
Arthroscopic partial lateral meniscectomy in an otherwise normal knee: Clinical, functional, and radiographic results of a long-term follow-up study. *Arthroscopy*. 2001 Nov-Dec;17(9):946-52.
100. Schreiber A, Dexel M.  
[Gonarthrosis after meniscectomy and meniscectomy in gonarthrosis] *Chirurg*. 1979 Oct;50(10):618-25. German.
101. Seil R, Kohn D. Meniskusersatz. *Trauma Berufskrankh* 2002-4: 216-221.



102. Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J, Yao L. Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation. *Am J Sports Med.* 2000 Jul-Aug;28(4):524-33.

103. Stollsteimer GT, Shelton WR, Dukes A, Bomboy AL.  
Meniscal allograft transplantation: a 1- to 5-year follow-up of 22 patients.  
*Arthroscopy.* 2000 May-Jun;16(4):343-7.

104. Stone KR.  
Meniscus replacement.  
*Clin Sports Med.* 1996 Jul;15(3):557-71. Review.

105. Szomor ZL, Martin TE, Bonar F, Murrell GA.  
The protective effects of meniscal transplantation on cartilage. An  
experimental study in sheep.  
*J Bone Joint Surg Am.* 2000 Jan;82(1):80-8.

106. Tapper EM, Hoover NW.  
Late results after meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Am.* 1969 Apr;51(3):517-26 passim.

107. Urban WP Jr, Nyland J, Caborn DN, Johnson DL. The radiographic position of medial and lateral meniscal horns as a basis for meniscal reconstruction. *Arthroscopy.* 1999 Mar;15(2):147-54.

108. Van Arkel ER, de Boer HH.  
Human meniscal transplantation. Preliminary results at 2 to 5-year follow-up.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1995 Jul;77(4):589-95.

109. Veltri DM, Warren RF, Wickiewicz TL, O'Brien SJ.  
Current status of allograft meniscal transplantation.  
*Clin Orthop.* 1994 Jun;(303):44-55. Review.

110. Verdonk R, Van Daele P, Claus B, Vandenabeele K, Desmet P, Verbruggen G, Veys EM, Claessens H.  
[Viable meniscus transplantation]  
Orthopade. 1994 Apr;23(2):153-9. German.
111. Verdonk R, Kohn D.  
Harvest and conservation of meniscal allografts.  
Scand J Med Sci Sports. 1999 Jun;9(3):158-9.
112. Wilcox TR, Goble EM.  
Indications for meniscal allograft reconstruction.  
Am J Knee Surg. 1996 Winter;9(1):35-6.
113. Wirth CJ, Milachowski KA, Weismeier K. [Meniscus transplantation in animal experiments and initial clinical results]. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1986 Jul-Aug;124(4):508-12.
114. Wirth CJ, Milachowski KA, Weismeier K.  
[Meniscus refixation and transplantation]  
Langenbecks Arch Chir. 1987;372:269-71. German.
115. Wirth CJ, Peters G, Milachowski KA, Weismeier KG, Kohn D.  
Long-term results of meniscal allograft transplantation.  
Am J Sports Med. 2002 Mar-Apr;30(2):174-81.
116. Wroble RR, Henderson RC, Campion ER, el-Khoury GY, Albright JP.  
Meniscectomy in children and adolescents. A long-term follow-up study.  
Clin Orthop. 1992 Jun;(279):180-9.

117. Yocum LA, Kerlan RK, Jobe FW.  
Isolated lateral meniscectomy.  
J Bone Joint Surg Am. 1979; 61: 338-42.

## **9. Danksagung**

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Privatdozent Dr. med. Romain Seil bedanken, für die Bereitstellung des interessanten Themas, die geduldige Führung und wertvollen Ratschläge im Verlaufe der Arbeit und die besondere Unterstützung und Förderung, die er mir in meiner noch jungen Laufbahn hat zukommen lassen.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Dr. med. Jochen Duchow und Herrn Dr. med. Dietrich Pape, die mir während Präparation, Auswertung und Korrektur jederzeit mit wertvollem Rat zur Seite standen.

Desweiteren danke ich Herrn Dr. med. Kurt W. Becker, Prosektor des Anatomischen Institutes, für die kollegiale Unterstützung bei den Entnahmearbeiten an den anatomischen Präparaten, sowie Herrn Dr. rer. nat. Thomas Georg für seine unschätzbare Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Auch meinen Eltern möchte ich an dieser Stelle meine tiefe Dankbarkeit aussprechen, ohne ihre immerwährende, selbstlose und großzügige Unterstützung in allen Abschnitten meines Lebens wäre nichts möglich gewesen.

Danke auch dir, liebe Anne-Marie, für die Geduld und Treue.

Für die finanzielle Unterstützung beim Druck der Arbeit danke ich dem Fonds National de la Recherche, Luxembourg.

## **10. Lebenslauf**

### **Persönliche Daten**

Name: Philippe Guy Claude WILMES  
Adresse: 62, rue des Champs  
L-8053 Bartringen  
Tel.: +352/061446799  
E-mail: p\_wilmes@yahoo.com  
Geburtsdatum: 23. Juli 1980  
Geburtsort: Luxemburg  
Staatsangehörigkeit: Luxemburger  
Familienstand: Ledig  
Sprachkenntnisse: Deutsch, Englisch, Französisch, Luxemburgisch

### **Schulbildung**

1986-1992 Grundschule in Luxemburg-Merl  
1992-1999 Lycée Michel-Rodange in Luxemburg  
28/06/99 Diplôme de fin d'Etudes secondaires, enseignement classique,  
orientation scientifique - Abitur

### **Medizinstudium**

WS 99/00 Erstes Vorklinisches Jahr am Centre Universitaire de  
Luxembourg  
WS 00/01-WS 05/06 Studium an der Universität des Saarlandes

*Examen*

10/07/00	Certificat d'Etudes Scientifiques, en sciences médicales
13/09/01	Ärztliche Vorprüfung
29/08/02	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
09/09/04	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
24/10/05	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung und Abschluß des Medizinstudiums

*Famulaturen*

25/02/02-26/03/02	Allgemein- und Unfallchirurgie in der Clinique Sacré-Coeur, Luxemburg
24/02/03-03/04/03	Innere Medizin in der Praxis Dr. J. Hoffelt, Luxemburg
04/04/03-21/04/03	Urologie in der Clinique St. Elisabeth, Luxemburg
11/08/03-18/10/03	Orthopädie und Unfallchirurgie im Hôpital Kirchberg, Luxemburg

*Praktisches Jahr*

24/10/04-13/02/05	Erstes Tertial in der Klinik für Innere Medizin I (Direktor: Prof. S. Herson) der Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
14/02/05-05/06/05	Zweites Tertial in der Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Gefäßchirurgie (Direktor: Prof. M. Schilling) und in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie (Direktor: Prof. T. Pohlemann) der Universitätskliniken des Saarlandes.
06/06/05-25/09/05	Drittes Tertial in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Universitätskliniken des Saarlandes (Direktor: Prof. D. Kohn).

### **Universitäre Tätigkeiten**

Beschäftigung als studentische Hilfskraft im Anatomie-Kurs von Prof. P. Mestres an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes in den Wintersemestern 02/03 und 03/04.

### **Approbation als Arzt**

Erteilt am 25. Oktober 2005 durch das Landesamt für Soziales, Gesundheit und Verbraucherschutz des Saarlandes.

### **Facharztausbildung**

18/11/05-31/12/05 Assistenzarzt im Service d'Orthopédie et de Traumatologie des Centre Hospitalier de Luxembourg (Chefarzt: Privatdozent Dr. R. Seil).

Seit 01/01/06 Assistenzarzt in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Universitätskliniken des Saarlandes (Direktor : Prof. D. Kohn).

### **Wissenschaftliche Arbeiten**

#### *Postervorträge*

D Dimitri, P Wilmes, O Benveniste, B Eymard, S Herson  
Association myasthénie-lupus érythémateux: 4 cas. Congrès de médecine interne à Nantes en juin 2005.

P Wilmes, R Seil, D Pape, D Kohn

Die Reproduzierbarkeit der röntgenologischen Bestimmung von Vorder- und Hinterhorn des Außenmeniskus zur Planung der Meniskustransplantation. 22. AGA-Kongress, Frankfurt am Main, 30. September-1. Oktober 2005.

#### *Vorträge*

R Seil, P Wilmes

Prävention von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes und des oberen Sprunggelenkes.

Workshop für Ärzte, Physiotherapeuten und Trainer. Neue Aspekte der Prävention von Sportverletzungen in Theorie und Praxis (Teil 1: Untere Extremität). Centre National Sportif et Culturel „d'Coque“, Luxembourg-Kirchberg, 17. Dezember 2005.

#### **Drittmittelförderung**

Fonds National de la Recherche, Luxembourg: Finanzierung der Teilnahme am 22. AGA-Kongress in Frankfurt am Main, 30. September-1. Oktober 2005 mit 668,90 EURO.



