

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

**Bildwandlergesteuerte Bohrung tibialer Tunnel zur Fixierung von  
Meniskustransplantaten unter Verwendung prozentualer  
Referenzwerte**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin*  
**der Medizinischen Fakultät**  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES  
2009

Vorgelegt von: Christian Josef Weth  
Geb. am 22.08.1980 in St. Wendel

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

Ich saach nit "Lebwohl"  
dat Woot dat kling wie Hohn  
völlig hohl  
Maach et joot.

Niemals geht man so ganz,  
irgendwas von mir bleibt hier,  
es hat seinen Platz immer bei dir.

*[Trude Herr]*

Ursula und Franz Altrichter  
in großer Dankbarkeit

## **Abkürzungen**

Abb.	Abbildung
ACL	vorderes Kreuzband, s. auch VKB
AMHH	Außenmeniskushinterhorn
AMVH	Außenmeniskusvorderhorn
a.p.	anteroposterior
bzw.	beziehungsweise
et al.	et alteri
etc.	et cetera
IMHH	Innenmeniskushinterhorn
IMVH	Innenmeniskusvorderhorn
lig.	ligamentum
M.	Musculus
MW	Mittelwert
N.	Nervus
PCL	hinteres Kreuzband
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
VKB	vorderes Kreuzband

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
1.1 Abstract	6
1.2 Zusammenfassung	8
<b>2. Einleitung</b>	<b>11</b>
Zielsetzung der Studie	14
<b>3. Material und Methode</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Material</b>	<b>15</b>
3.1.1 Einzelkomponenten	15
3.1.1.1 Tibiaköpfe	15
3.1.1.2 Instrumente	15
3.1.1.3 Bildwandler	17
3.1.1.4 Zielgerät	17
3.1.1.5 Digitalkamera	17
3.1.1.6 Software	17
<b>3.2 Methode</b>	<b>18</b>
3.2.1 Präparation	18
3.2.1.1 Entnahme der Tibiaköpfe	18
3.2.1.2 Darstellung der Meniskusinsertionen	19
3.2.2 Bohrung und Messung	20
3.2.2.1 Messung der Insertionsflächen	20
3.2.2.2 Bohrung	20
3.2.3 Auswertung	22
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Knorpeldegeneration</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Kalibrierung</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Insertionsflächen</b>	<b>26</b>

<b>4.4 Bohrflächen</b>	<b>27</b>
<b>4.5 Bohrpräzision</b>	<b>28</b>
<b>4.6 Maximaler Abstand der Ränder</b>	<b>30</b>
<b>5. Diskussion</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Material</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Methode</b>	<b>36</b>
5.2.1 Präparation	36
5.2.2 Fotos	36
5.2.3 Bohrung	37
5.2.4 Auswertung	38
<b>5.3 Ergebnisse</b>	<b>39</b>
5.3.1 Bohrpräzision	39
5.3.2 Maximaler Abstand der Ränder	39
<b>5.4 Einschränkungen der Studie</b>	<b>41</b>
<b>5.5 Anwendung</b>	<b>42</b>
<b>6. Schlussfolgerung</b>	<b>44</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>45</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>51</b>
<b>9. Danksagung</b>	<b>63</b>
<b>10. Lebenslauf</b>	<b>64</b>

# **1. Zusammenfassung**

## **1.1 Abstract**

Meniscal tears are among the most frequent injuries of the knee joint. Evolutions in arthroscopic surgery allow nowadays in the majority of cases a preservation of at least parts of the damaged meniscal tissue. However, in those patients with anatomical or functional loss of a meniscus, early osteoarthritis manifestation in the affected compartment has been observed. In younger patients, meniscal transplantation has been introduced as a therapeutic option to maintain the biomechanical function of the knee. Besides graft quality and size, the anatomic positioning of the transplant at the insertion sites of the original meniscus is considered one of the major factors determining the outcome of a meniscus transplantation. Admittedly, correct graft positioning remains difficult, especially when the procedure is performed years after the initial meniscal loss. Recent publications show that the menisci have constant and radiographically reproducible insertion sites on the tibial plateau. Thus it is hypothesized that a radiographically controlled drilling of bony tibial tunnels could allow a more precise placement of meniscal allografts.

The objective of this investigation was to evaluate the precision of tibial tunnel drilling for anatomic anchoring of meniscus transplants at the tibial insertion areas, using previously obtained percentage references.

In 20 cadaveric tibial heads, anterior and posterior horn insertions of both the lateral and the medial meniscus were dissected and their circumferences outlined. Standardized photographs of the tibial plateau were obtained. Applying previously obtained percentage values for radiographic determination of the meniscus insertion midpoints, tibial tunnels were drilled with the use of a standard ACL-guide. The

positioning of the drilling guide was performed by solely using the midpoints as determined on standard ap and lateral radiographs; during the procedure, no position correction related to the anatomic insertions was made. After tibial tunnel drilling, a second set of standardized photographs of the tibial plateau was obtained. Adobe Photo Shop® permitted the superposition of pre- and postoperative images. Coincidence between the anatomic insertion areas and the footprint of the tibial tunnel exit was determined, as well as the distance between the borders of the insertion areas and the tunnel footprint.

For the lateral meniscus, the mean coincidence of insertion area and tunnel footprint was  $59.8 \pm 34.8$  % for the anterior horn insertion and  $62.4 \pm 32.0$  % for the posterior horn insertion. The mean distance between the borders of insertion area and tunnel footprint was  $2.0 \pm 1.5$  mm for the anterior horn insertion and  $2.0 \pm 1.7$  mm for the posterior horn insertion.

For the medial meniscus, the mean coincidence of insertion area and tunnel footprint was  $88.4 \pm 15.5$  % for the anterior horn insertion and  $60.3 \pm 31.6$  % for the posterior horn insertion. The mean distance between the borders of insertion area and tunnel footprint was  $0.9 \pm 0.9$  mm for the anterior horn insertion and  $2.1 \pm 1.4$  mm for the posterior horn insertion.

In conclusion, we think that the use of percentage references for tibial meniscus insertion midpoint determination in combination with a radiographic positioned standard ACL-guide permits precise drilling of tibial tunnels on the anatomic location of the meniscus insertions.

This method might permit an enhancement of the surgical technique for bone plug fixation of lateral and medial meniscus transplants.

## **1.2 Zusammenfassung**

Meniskusrisse zählen zu den häufigsten Verletzungen des Kniegelenkes. Die Entwicklungen in der arthroskopischen Chirurgie erlauben heutzutage in den meisten Fällen den Erhalt von zumindest einem Teil des verletzten Meniskusgewebes. Bei jenen Patienten, die einen anatomischen oder funktionellen Verlust des Meniskus erlitten haben, wurde allerdings die Entwicklung einer Früharthrose im betroffenen Kompartiment beobachtet. Bei jüngeren Patienten wurde deshalb die Meniskustransplantation als therapeutische Option zum Erhalt der biomechanischen Eigenschaften des Kniegelenkes eingeführt. Neben Qualität und Größe des Spendergewebes ist die anatomische Positionierung des Transplantates an den Insertionen des ursprünglichen Meniskus einer der Haupteinflussfaktoren für den Erfolg der Operation. Die korrekte Positionierung des Transplantates ist allerdings schwierig, insbesondere in jenen Fällen, in denen der Meniskusersatz Jahre nach dem Verlust des Meniskus erfolgt. Neuere Publikationen zeigen, dass die Menisken konstante und röntgenologisch reproduzierbare Insertionsareale auf dem Tibiaplateau haben. Daraus leitet sich die Hypothese ab, dass eine bildwandlergesteuerte Bohrung tibialer Tunnel eine präzisere Positionierung von Meniskustransplantaten erlauben könnte.

Ziel unserer Studie ist die Bestimmung der Bohrpräzision tibialer Tunnel zur anatomischen Fixierung von Meniskustransplantaten an den tibialen Insertionsarealen unter Verwendung etablierter prozentualer Referenzwerte.

An 20 formalinfixierten Tibiaköpfen wurden die Insertionsareale von Vorder- und Hinterhorn der Menisken abpräpariert und ihre Zirkumferenz markiert. Das Tibiaplateau wurde in standardisierter Technik fotografiert. Unter Verwendung etablierter prozentualer Referenzwerte zur röntgenologischen Bestimmung der tibialen Insertionsmittelpunkte von Vorder- und Hinterhorn der Menisken, welche in

publizierten Vorstudien ermittelt wurden, erfolgte bildwandlergesteuert die Bohrung tibialer Tunnel mit einem Standard-Zielgerät für Ersatzplastiken des vorderen Kreuzbandes. Die Positionierung des Zielgerätes erfolgte lediglich anhand der röntgenologisch bestimmten Insertionsmittelpunkte. Während der Prozedur wurde keine Korrektur der Position des Zielgerätes anhand der anatomischen Orientierung durchgeführt. Nach Bohrung der Tunnel wurde ein zweiter Satz standardisierter Fotografien des Tibiaplateaus erstellt. Die Auswertung der prä- und postoperativen Aufnahmen erfolgte durch Superposition mit Hilfe von Adobe Photo Shop®. Die Überschneidung zwischen der anatomischen Insertionsfläche und der Austrittsfläche des Bohrkanals sowie die Distanz zwischen den Rändern der Insertionsfläche und der Austrittsfläche wurden auf diesen Bildern bestimmt.

Für den Außenmeniskus fanden sich mittlere Überschneidungen von Insertionsfläche und Austrittsfläche von  $59,8 \pm 34,8$  % für das Vorderhorn (AMVH) und von  $62,4 \pm 32,0$  % für das Hinterhorn (AMHH). Die mittlere Distanz zwischen den Rändern von Insertionsfläche und Austrittsfläche betrug  $2,0 \pm 1,5$  mm für das Vorderhorn und  $2,0 \pm 1,7$  mm für das Hinterhorn.

Für den Innenmeniskus fanden sich mittlere Überschneidungen von Insertionsfläche und Austrittsfläche von  $88,4 \pm 15,5$  % für das Vorderhorn (IMVH) und von  $60,3 \pm 31,6$  % für das Hinterhorn (IMHH). Die mittlere Distanz zwischen den Rändern von Insertionsfläche und Austrittsfläche betrug  $0,9 \pm 0,9$  mm für das Vorderhorn und  $2,1 \pm 1,4$  mm für das Hinterhorn.

Die Verwendung prozentualer Referenzwerte zur Bestimmung der Mittelpunkte der tibialen Insertionen der Menisken erlaubt demnach in Kombination mit einer bildwandlergesteuerten Positionierung eines tibialen Zielgerätes zur Kreuzbandersatzplastik eine präzise Bohrung tibialer Tunnel auf die anatomischen Meniskusinsertionen.

Wir glauben, dass die klinische Anwendung dieser Methode zu einer Verbesserung der Operationstechnik zur Fixierung von Meniskustransplantaten mit Knochenblöcken führen kann.

## **2. Einleitung**

Meniskusrisse zählen zu den häufigsten Verletzungen des Kniegelenks (BAKER, 1985; HEDE, 1990; NIELSEN, 1991; PETERS, 2003). Bei ihrer operativen Behandlung sollte primär soviel Meniskusgewebe wie möglich erhalten werden (COX, 1975; FUKUBAYASHI, 1980; DEHAVEN, 1989; DEHAVEN, 1990; IHN, 1993; KOHN, 1994a; VELTRI, 1994; JOHNSON, 1995; RODEO 2001; GREIS, 2002a; GREIS, 2002b; RIJK 2004; MCDERMOTT, 2006; LUBOWITZ, 2007; MATAVA, 2007), da ein partiell oder komplett fehlender Meniskus erhebliche Auswirkungen auf die Biomechanik und die Funktion des Gelenkes hat. Biomechanische Studien haben ergeben, dass sich nach totaler Meniskektomie die Kontaktfläche zwischen Femur und Tibia um bis zu 75% vermindert (BARATZ, 1986), während gleichzeitig die femorotibialen Druckspannungen im betroffenen Kompartiment um bis zu 335% ansteigen (PALETTA, 1997). In der Folge kommt es zur Arthroseentwicklung mit entsprechender Schmerzsymptomatik und Reduzierung der Gelenkfunktion (FAIRBANK, 1948; JACKSON, 1968; JOHNSON, 1974; COX, 1975; ALLEN, 1984; JORGENSEN, 1987).

Trotz der Entwicklungen und Fortschritte der arthroskopischen Chirurgie, welche in den meisten Fällen resezierende, gewebeschonende Eingriffe ermöglichen, gibt es nach wie vor Fälle, in denen ein Meniskus total oder subtotal entfernt werden muss (DEHAVEN, 1989; DEHAVEN, 1990; MCDERMOTT, 2006). Für junge, aktive Patienten mit beginnender unikompartimenteller, symptomatischer Gonarthrose gibt es nur wenige gelenkerhaltende therapeutische Optionen; der Ersatz des Meniskus durch ein allogenes Transplantat hat sich seit den 80er Jahren als mögliche Therapieform etabliert (SEIL, 2005; DIENST, 2006; LUBOWITZ, 2007; MATAVA, 2007; MCDERMOTT, 2008). Experimentelle Arbeiten zeigten, dass auch ein transplantiertes Meniskus die normale Gelenkbiomechanik nicht vollständig wiederherstellen kann (ALHALKI, 2000; SZOMOR, 2000; HUANG, 2003), die

femorotibialen Kontaktdrücke gegenüber dem Zustand nach Meniskektomie durch den Meniskusersatz allerdings reduziert und die Kontaktflächen zwischen Femur und Tibia vergrößert werden können (CHEN, 1996; PALETTA, 1997; ALHALKI, 2000; HUANG, 2003; MCDERMOTT, 2008).

Neuere Publikationen zu den klinischen Ergebnissen nach Meniskustransplantation zeigen, dass durch den Ersatz des Meniskus zumindest mittelfristig eine Schmerzreduktion und eine Funktionsverbesserung erreicht werden können (VERDONK, 2005; SEKIYA, 2006b; STONE, 2006; VERDONK, 2006a; DEIE, 2007; HOMMEN, 2007; VON LEWINSKI, 2007). Ob sich das Fortschreiten der Arthrose durch einen allogenen Meniskusersatz allerdings aufhalten lässt, bleibt unsicher.

Einer der wesentlichen Einflussfaktoren auf die Transplantatfunktion und somit für einen erfolgreichen Meniskusersatz ist die anatomisch korrekte Positionierung der Insertionen des Transplantates. Nur durch isometrische Insertionen kommt die „virtuelle Ringform“ der Meniskusfasern zustande (SEIL, 2005), durch die axialer Druck in zirkuläre Spannung umgewandelt werden kann (BULLOUGH, 1970; FITHIAN, 1989; KOHN, 1994b; KOHN, 1995; BULL, 2005), um so die lastverteilende Funktion der Menisken zu ermöglichen (JØRGENSEN, 1987; CHEN, 1996; ALHALKI, 1999; SZOMOR, 2000; RODEO, 2001; SEKARAN, 2002).

SEKARAN et al. (2002) konnten in einer Leichenstudie am medialen Meniskus zeigen, dass eine anisometrische Fixierung des Hinterhorns bereits mit einem Versatz von mehr als fünf Millimetern eine signifikant veränderte Verteilung des Kontaktdruckes zur Folge hat. LAZOVIC et al. (1997) und VON LEWINSKI et al. (2008) fanden in tierexperimentellen Studien an Schafen nach anisometrischer Fixation eines kongruenten Transplantates schlechtere morphologische und

histologische Knorpelverhältnisse als nach isometrischer Fixation eines inkongruenten Transplantates oder totaler Meniskektomie.

Die präzise Bestimmung der ursprünglichen Meniskusinsertionen ist intraoperativ häufig schwierig. Die Insertionsanatomie der Menisken wurde hinlänglich beschrieben (KOHN, 1995; BERLET, 1998), die enge Beziehung der Insertionen zu benachbarten Strukturen, allen voran den intercondylären Tuberkeln, die komplexe dreidimensionale Anatomie des Tibiaplateaus und eine länger zurückliegende Meniskektomie (URBAN, 1993; KOHN, 1994a; JOHNSON, 1995; KOHN, 1995; SEKARAN, 2002) machen jedoch die Darstellung des Zielgebietes und die korrekte Positionierung der Bohrkanäle zur Verankerung des Transplantats, insbesondere bei arthroskopischem Zugang, schwierig (URBAN, 1993; DIENST, 2006).

In vorangehenden Arbeiten konnte gezeigt werden, dass sich die Insertionen sowohl des medialen als auch des lateralen Meniskus in konstanter und reproduzierbarer Relation zu Breite und Tiefe des Tibiaplateaus befinden (WILMES, 2007; WILMES, 2008). Bohrkanäle an diesen Stellen müssten demnach eine anatomisch korrekte Positionierung des Transplantates erlauben.

## **Zielsetzung der Studie**

1. Bohrungen auf die anatomischen Meniskusinsertionen in Kenntnis oben genannter Beziehungen unter Bildwandlerkontrolle mit Hilfe eines tibialen Zielgerätes für Kreuzbandersatzplastiken.
2. Bestimmung der Überschneidung und des maximalen Abstands der Ränder von Bohrfläche und anatomischer Meniskusinsertion.
3. Ableiten von Aussagen über die Präzision von Bohrkanälen, die mit dieser Methode geschaffen wurden.

Ziel ist es, die Hypothese zu bestätigen, dass es mit dieser Methode gelingt, die ursprünglichen Ansätze ausreichend genau zu treffen, um eine praktikable Möglichkeit zu haben, die Insertionen intraoperativ präzise zu bestimmen und das Transplantat mit hoher Genauigkeit zu positionieren.

## **3. Material und Methode**

### **3.1 Material**

#### **3.1.1 Einzelkomponenten**

##### **3.1.1.1 Tibiaköpfe**

Die Untersuchung wurde an den Tibiaköpfen der Leichen von 16 Körperspendern des Anatomischen Instituts der Universität des Saarlandes in Homburg/ Saar durchgeführt. Sechs Körperspender wurden nach der Präparation der Tibiaköpfe ausgeschlossen, weil die Knorpeldegeneration an einem oder an beiden Knien Grad 2 nach JACKSON et al. (1992) überschritt oder Meniskusschäden vorhanden waren. Von den verbliebenen zehn Körperspendern waren sechs weiblich und vier männlich. Das mittlere Sterbealter lag bei 73,4 Jahren (Spannbreite: 57-91, Median: 73,5). Es standen also insgesamt 20 Präparate für die Untersuchung zur Verfügung. Diese waren frei von Meniskusschäden oder höhergradigen Knorpelläsionen. Ebenso konnten wir, außer einer osteoporoseartig veränderten Knochenstruktur, keine fixationsbedingten strukturellen Veränderungen der Kniegelenke feststellen.

##### **3.1.1.2 Instrumente**

Zur Präparation wurden folgende Instrumente verwendet: ein Schraubstock, ein Skalpell mit 20er-Klinge, verschiedene Präparationsscheren, chirurgische und anatomische Pinzetten sowie eine Knochensäge (Abb. 1).

Für die Bohrungen wurden ferner benötigt: ein Bohrhandstück (Hersteller: Stryker, Inc., Kalamazoo, MI, USA, Typ: System 5), Kirschner-Drähte der Stärke 1,4 mm sowie ein Bohrer mit 6 mm Durchmesser (Abb. 2).



**Abb. 1:** Instrumente zur Präparation: 1. anatomische und chirurgische Pinzetten, 2. Präparierscheren, 3. Skalpell mit 20er Klinge.



**Abb. 2:** Instrumente zur Bohrung der tibialen Tunnel: 1. Kirschner-Drähte, 2. Bohrer, 3. Zielmarkierungshaken links, 4. graduierte Führungsdrahthülse, 5. Zielmarkierungshaken rechts, 6. C-Ring, 7. Bohrhandstück, 8. Schlüssel für Bohrfutter.

### 3.1.1.3 Bildwandler

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

Typ: 9800 C-Arm und 1kx1k Workstation

### 3.1.1.4 Zielgerät

Tibiales Zielgerät zur vorderen Kreuzbandersatzplastik bestehend aus: Drill guide C-ring, graduated guide pin sleeve und target POP marking hook left/ right;

Hersteller: Arthrex, Inc., Naples, FL, USA

### 3.1.1.5 Digitalkamera

Hersteller: RICOH comp., Tokyo, Japan

Typ: Caplio RR 30

### 3.1.1.6 Software

ADOBE Photoshop® 7.0, Adobe Systems Inc., San Jose, Calif., USA, zur Bearbeitung der Bilder;

DatInf Measure 1.0, DatInf GmbH, Tübingen, zum Ausmessen der Bohrflächen.

## **3.2 Methode**

### **3.2.1 Präparation**

#### **3.2.1.1 Entnahme der Tibiaköpfe**

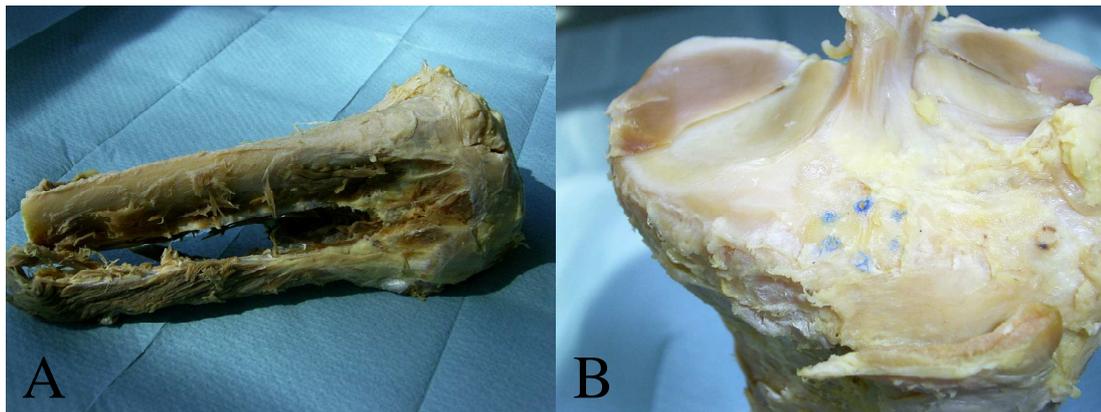
Zur Entnahme der Tibiaköpfe wurde zunächst die Haut mit einem ca. 40 cm langen, ventralen Längsschnitt eröffnet. Haut und subkutanes Fettgewebe wurden abpräpariert. Das Lig. patellae wurde knapp oberhalb der Tuberositas tibiae abgesetzt und der M. quadriceps femoris unter Durchtrennung der Retinaculae patellae nach cranial präpariert. Medial wurden die Sehnen der Mm. sartorius, gracilis und semitendinosus von ihrem tibialen Ansatz („Pes anserinus superficialis“) gelöst und die Muskeln nach cranial abpräpariert. Ebenso wurde mit dem M. semimembranosus und dem M. adductor magnus verfahren. Das Lig. collaterale fibulare wurde durchtrennt. Lateral wurde der Tractus iliotibialis vom Tibiacondylus und die Sehne des M. biceps femoris vom Fibulaköpfchen gelöst sowie das Lig. collaterale tibiale durchtrennt.

Dorsal wurde der M. gastrocnemius vom M. soleus freipräpariert und nahe der femoralen Insertion abgesetzt. Dann wurde die Capsula articularis über dem Gelenkspalt eröffnet und das vordere und hintere Kreuzband unter Sicht von ihrem femoralen Ansatz gelöst. Der hintere Anteil der Gelenkkapsel wurde eröffnet und die Tibia unter Durchtrennung von M. popliteus, M. plantaris, Arteria und Vena poplitea, N. tibialis und N. fibularis communis und des M. soleus, aus ihrer gelenkigen Verbindung zum Femur gelöst.

Der M. tibialis anterior wurde von der Tibia gelöst und nach distal präpariert, ebenso der M. fibularis longus und der M. extensor digitorum longus von der Fibula. Schließlich konnten Tibia und Fibula 20 cm unterhalb des Gelenkspalts osteotomiert und der Tibiakopf entnommen werden (Abb. 3 A).

### 3.2.1.2 Darstellung der Meniskusinsertionen

Zur Darstellung der Meniskusinsertionen wurden die Tibiaköpfe zunächst von Muskel- und Bindegewebsresten befreit. Das Corpus adiposum infrapatellare (Hoffa-Fettkörper) wurde entfernt. Anschließend erfolgte die Präparation der Gelenkkapsel von den Menisken. Das Lig. transversum genus wurde, sofern vorhanden, durchtrennt. Die Kreuzbänder wurden zur besseren Darstellung der Meniskusinsertionen nahe ihres tibialen Ansatzes abgesetzt. Die Menisken wurden dann zwischen Vorder- und Hinterhorn radiär durchtrennt, von der Tibia abgehoben und unter Zug mit dem Skalpell vom Knochen gelöst. Die so dargestellten Insertionsareale wurden farblich markiert (Abb. 3 B).

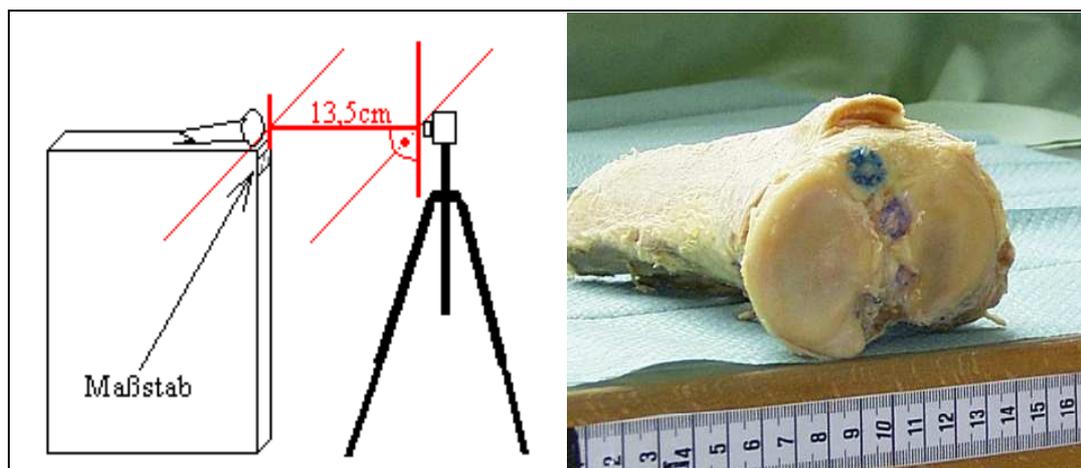


**Abb. 3:** Tibiakopf A) nach Entnahme, B) nach Präparation der Insertionen (hier: Vorderhorn des Innenmeniskus).

### 3.2.2 Bohrung und Messung

#### 3.2.2.1 Messung der Insertionsflächen

Es wurden zunächst standardisierte, digitale Fotos des Tibiaplateaus angefertigt. Dazu befand sich die Linse der Kamera auf Höhe des Tibiaplateaus in definiertem, gleich bleibendem Abstand (13,5 cm). Bildebene und Plateau standen parallel zueinander. Zur Auswertung wurde in der Ebene des Tibiaplateaus ein Maßstab angebracht (Abb. 4). Auf diesen Bildern markierten wir am Computer die Umrisse der jeweiligen Insertionsfläche zur besseren Orientierung. Anschließend wurde die Größe der Insertionsflächen mit einem Programm zur Flächenmessung ermittelt.



**Abb. 4:** Aufbau zum standardisierten Fotografieren der Tibiaköpfe.

#### 3.2.2.2 Bohrung

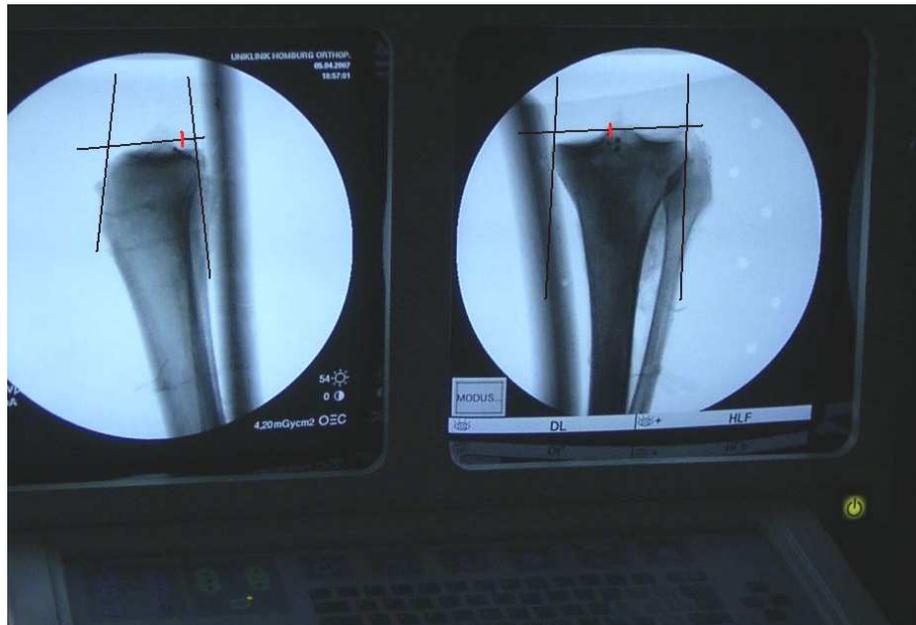
Zur Anbohrung der Meniskusinsertionen wurde ein Bohrer von 6 mm Durchmesser verwendet, welcher auch standardmäßig bei VKB-Plastiken und Meniskustransplantationen zum Einsatz kommt. Die Tibiaköpfe wurden senkrecht in einen Schraubstock eingespannt. Mit dem Bildwandler wurden dann jeweils ein

Röntgenbild im a.p. und im lateralen Strahlengang angefertigt. Die Position des C-Bogens wurde derart fixiert, dass zur anschließenden Positionierung des Zielgerätes deckungsgleiche Bilder in denselben Ebenen gemacht werden konnten. Die anzubohrende Meniskusinsertion wurde auf diesen Röntgenbildern - nach Messung von Tibiabreite und -tiefe mit einem geometrischen Zeichendreieck - mit Hilfe der vorher bestimmten Prozentwerte und der von WILMES et al. (2007 und 2008) vorgeschriebenen Methode (Tab. 1) markiert.

Bildwandlerkontrolliert wurde dann ein tibiales Zielgerät zur Kreuzbandersatzplastik am Tibiaplateau auf die zuvor am Bildschirm markierten Punkte gesetzt. Ein K-Draht wurde in anterograder Richtung von der jeweils kontralateralen Tibiakante eingebracht. Über diesen wurde dann mit einem kanülierten 6mm-Bohrer der tibiale Tunnel gebohrt. Dieses Vorgehen wiederholten wir an allen vier Insertionen.

**Tabelle 1:** Insertionslokalisation in Abhängigkeit von Tibiabreite (gemessen von lateral) und Tibiatiefe (gemessen von anterior) [%] (WILMES et al. 2007; WILMES et al. 2008).

	Außenmeniskus		Innenmeniskus	
	ap	lat	ap	lat
Vorderhorn	45,1	41,9	57,3	12,0
Hinterhorn	49,8	72,1	56,5	81,6



**Abb. 5:** Markierung der Meniskusinsertionen auf den Röntgenbildern: Die Abbildung zeigt die Röntgenbilder auf der Workstation des Bildwandlers. Markiert sind die Hilfslinien zur Messung der Tibiabreite und -tiefe sowie die Insertion des posterioren Horns des medialen Meniskus.

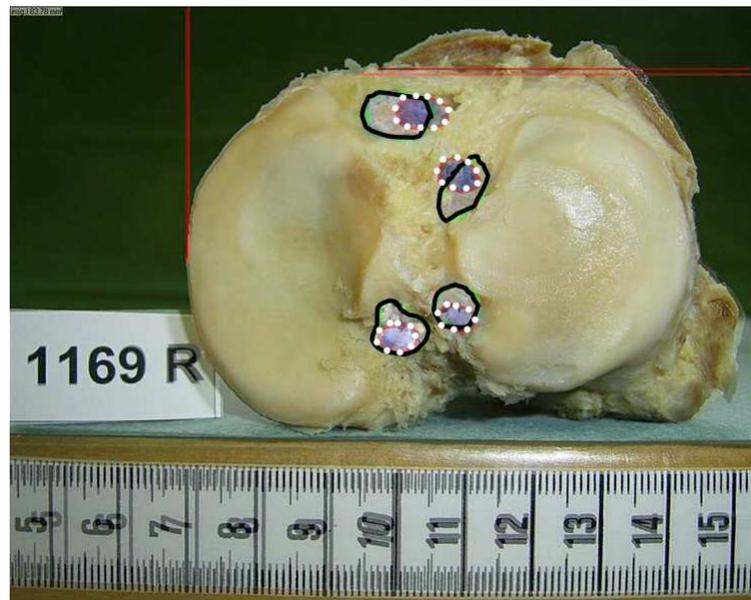
### **3.2.3 Auswertung**

Nach der unter 3.2.2.1 beschriebenen Methode wurden dann erneut Fotos gemacht. Auch auf diesen Fotos markierten wir diesmal die Umrise der Bohrfläche. Anschließend wurden die Bilder mit einer Bildbearbeitungssoftware transparent gemacht und mit dem entsprechenden Bild der ungebohrten Tibia überlagert (Abb. 6). Dabei orientierten wir uns an knöchernen Landmarken (Tubercula intercondylari, Plateauränder).

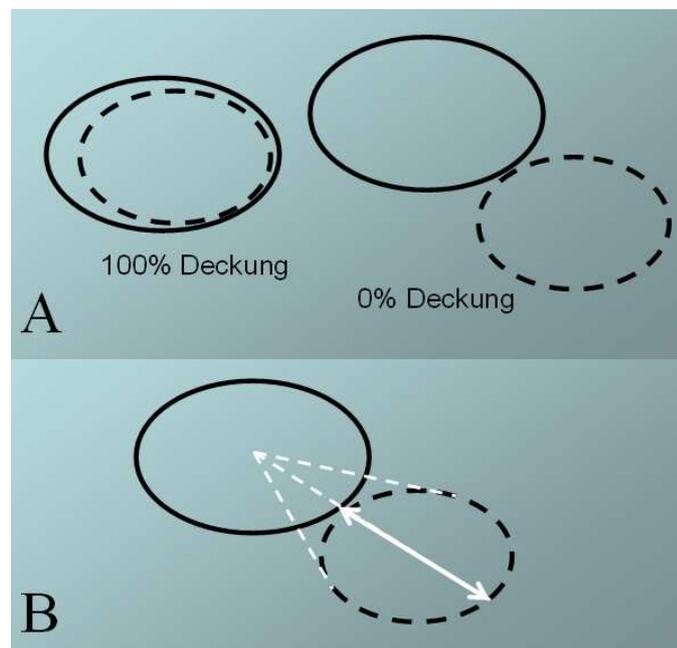
Auf den so übereinander gelegten Bildern maßen wir die Übereinstimmung des Bohrkanals auf dem Tibiaplateau (Bohrfläche) mit der anatomischen Meniskusinsertion (Präzision der Bohrung). Dazu wurde mit dem Programm zur Flächenmessung zunächst die Größe der Bohrfläche und anschließend der Anteil der Bohrfläche in der ursprünglichen Insertion (Überschneidung) gemessen. Setzt man

diese beiden Werte in Relation zueinander, erhält man Aussagen zur Bohrpräzision (Abb. 7 A). Sind die Werte für Bohrfläche und Überschneidung gleich, liegt die gesamte Öffnung des Bohrkanals innerhalb der ursprünglichen Meniskusinsertion; die Bohrpräzision ist hoch (100%). Ist die Größe der überschneidenden Fläche 0 mm<sup>2</sup>, trifft der Bohrkanal die Insertion überhaupt nicht; die Präzision ist gering (0%). Zusätzlich maßen wir den maximalen (positiven) Abstand des Randes der Bohrfläche vom Insertionsrand, um zu erkennen, wie weit die Position eines Transplantates von der anatomisch korrekten Position abweichen würde (Abb. 7 B).

Die ermittelten Werte wurden in Excel-Tabellen eingetragen. Wir errechneten Maximum, Minimum, Mittelwert, Median und Standardabweichung der jeweiligen Parameter, dann erfolgte die statistische Auswertung. Es wurden von der Bohrpräzision und dem Abstand der Ränder *Box & Whisker-Plots* (Boxplots) angefertigt. Hierbei handelt es sich um eine Darstellungsform in der deskriptiven Statistik quantitativer Merkmale. Die Kastengrenzen und -teilungslinien 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.



**Abb. 6:** überlagerte Bilder; anatomische Meniskusinsertionen (schwarz), Bohrfläche (weiß, gepunktet).



**Abb. 7:** Prinzip der Messung A) der Bohrpräzision und B) des maximalen Abstandes der Ränder (weißer Pfeil) von anatomischer Insertion (schwarzer Kreis) und Bohrfläche (gestrichelter Kreis).

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Knorpeldegeneration**

Die Tibiaköpfe zeigten makroskopisch folgende Grade der Degeneration des Gelenkknorpels nach JACKSON et al. (1992; Grad 0: keine beobachtbaren Veränderungen; Grad 1: intakte Oberfläche mit Farbveränderungen, Oberflächenunregelmäßigkeiten oder beidem; Grad 2: Oberflächenfibrillation oder Knorpelverlust ohne Knochenfreilegung):

Grad 0: 2

Grad 1: 14

Grad 2: 4

Tibiaköpfe mit Knorpeldegenerationen größer Grad 2 wurden ausgeschlossen.

### **4.2 Kalibrierung**

Ein Vorversuch zur Kalibrierung des Programms zur Flächenmessung ergab die geringste Standardabweichung, wenn die Kalibrierung bei 200% vergrößertem Bild über eine Referenzstrecke von einem Zentimeter (cm 10 bis 11 auf dem Maßstab) vorgenommen wurde (Tab. 2).

**Tabelle 2:** Kalibrierungsgenauigkeit

Die Zahlen geben die Anzahl der Bildpunkte im Messbereich wieder.

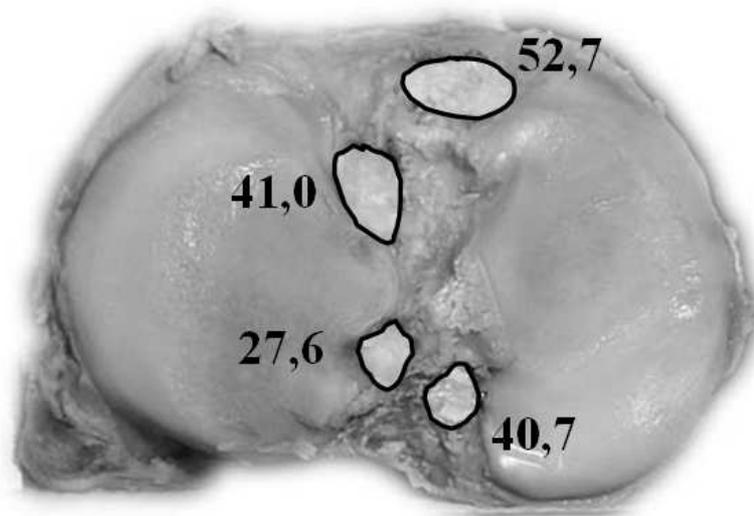
Messstrecke	Zoom 100%			Zoom 200%		
	80 mm	10 mm	1 mm	80 mm	10 mm	1 mm
MW	763,4	94,3	9,1	763,3	94,1	9,1
Median	763,5	94,0	9,0	763,0	94,0	9,0
Minimum	762,1	94,0	8,0	763,0	94,0	8,0
Maximum	764,1	95,0	10,1	764,0	95,0	10,0
SD	0,7	0,5	0,6	0,5	0,3	0,5

### **4.3 Insertionsflächen**

Die Messung der Insertionsflächen der Menisken auf den Fotos ergab die folgenden Werte (Tab. 3, Abb. 8 und Tab. 9 im Anhang): Die Fläche der Insertion des IMVH ist im Mittel am größten (52,7 mm<sup>2</sup>). Die Größe variiert dabei für die einzelnen Tibiae zwischen 33,7 mm<sup>2</sup> und 64,6 mm<sup>2</sup>. Etwa gleich groß ist die gemittelte Insertionsfläche von IMHH und AMVH (40,7 bzw. 41,0 mm<sup>2</sup>). Auch hier ist die inter- und intraindividuelle Variation insbesondere für das AMVH groß (23,3-60,4 mm<sup>2</sup>). Die Insertion des AMHH ist im Mittel am kleinsten (MW: 27,6 mm<sup>2</sup>, range: 16,7-36,5 mm<sup>2</sup>).

**Tabelle 3:** Größe der Insertionsflächen [mm<sup>2</sup>]

	<u>Innenmeniskus</u>		<u>Außenmeniskus</u>	
	<u>Vorderhorn</u>	<u>Hinterhorn</u>	<u>Vorderhorn</u>	<u>Hinterhorn</u>
MW	52,7	40,7	41,0	27,6
Median	53,9	39,6	41,0	28,4
Maximum	64,6	57,0	60,4	36,5
Minimum	33,7	32,5	23,3	16,7
SD	7,4	6,5	9,4	6,6

**Abb. 8:** gemittelte Größe der Insertionsflächen [mm<sup>2</sup>]

#### **4.4 Bohrflächen**

Für die Größe der Bohrflächen ermittelten wir Werte zwischen 17,8 mm<sup>2</sup> für das AMHH und 27,4 mm<sup>2</sup> für das IMVH. Die Werte für IMHH und AMVH liegen dazwischen (19,4 bzw. 21,1 mm<sup>2</sup>). Die Standardabweichung ist mit maximal 5,8 mm<sup>2</sup> für den Bohrkanal auf das IMVH gering (Tab. 4 und Tab. 10-13 im Anhang).

**Tabelle 4:** Größe der Bohrflächen [mm<sup>2</sup>]

	<u>Innenmeniskus</u>		<u>Außenmeniskus</u>	
	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>
MW	27,4	19,4	21,1	17,8
Median	26,8	19,2	20,7	17,6
Maximum	41,7	28,6	26,5	22,2
Minimum	17,8	12,9	14,0	14,8
SD	5,8	3,7	3,3	2,3

#### **4.5 Überschneidung von Bohrflächen und anatomischer Insertion/ Bohrpräzision**

Ebenso wurde der Anteil der Bohrfläche, der sich mit der anatomischen Insertion überschneidet, gemessen (Tab. 10-13 im Anhang) und in Relation zur gesamten Bohrfläche gesetzt, um Aussagen zur Bohrpräzision zu erhalten. Die höchste Präzision konnten wir so für das IMVH ermitteln (88,4%), gefolgt vom AMHH mit 62,4%. Die Präzision für IMHH und AMVH liegt mit jeweils etwa 60% leicht darunter. Für alle Insertionen weist die Bohrpräzision eine hohe Standardabweichung auf (bis 34,8% für das AMVH) (Tab. 5 und Tab. 10-13 im Anhang). Auffällig ist der hohe Median für das AMHH, der vom Mittelwert deutlich nach oben abweicht sowie der deutlich nach unten abweichende Median für das AMVH. Für die übrigen Insertionen liegt der Median etwa im Bereich der Mittelwerte.

**Tabelle 5:** Überschneidung von Bohrfläche und anatomischer Insertion/ Präzision der Bohrung [%]

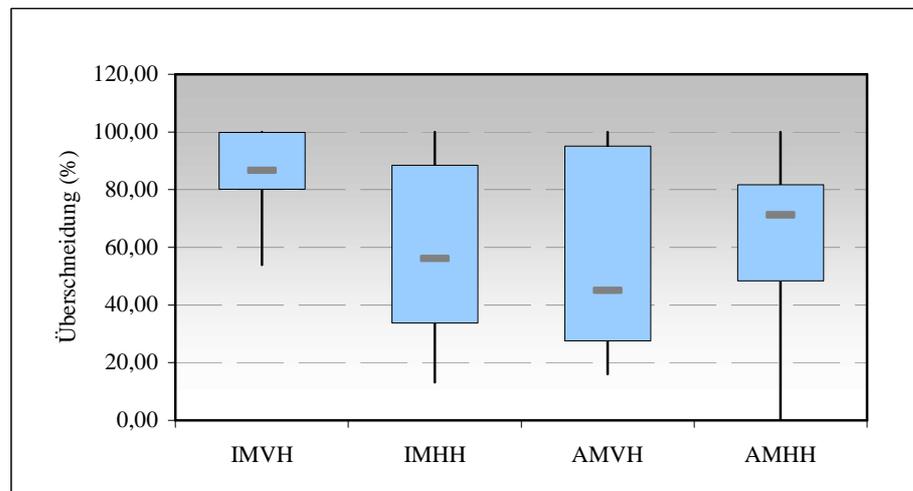
	<b>Innenmeniskus</b>		<b>Außenmeniskus</b>	
	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>
MW	88,4	60,3	59,8	62,4
Median	86,7	56,1	45,1	71,2
Maximum	112,5	105,7	112,5	104,9
Minimum	53,9	12,2	16,0	0,00
SD	15,5	31,6	34,8	32,0

Korrigiert auf einen Maximalwert von 100% für die Bohrpräzision ergeben sich folgende Werte (Tab. 6):

**Tabelle 6:** korrigierte Präzision der Bohrung [%]

	<b>Innenmeniskus</b>		<b>Außenmeniskus</b>	
	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>
MW	86,5	59,8	58,1	62,0
Median	86,7	56,2	45,1	71,2
Maximum	100,0	100,0	100,0	100,0
Minimum	53,9	12,2	16,0	0,0
SD	13,2	30,9	32,4	31,5

Die Verteilung der Relativwerte für die (korrigierte) Bohrpräzision wurde mittels Box- und Whisker-Plots graphisch dargestellt (Abb. 9). Der große Interquartilsabstand spricht für eine große Streuung der Werte, insbesondere für IMHH und AMVH.



**Abb. 9:** graphische Darstellung der Überschneidung von Bohrfläche und anatomischer Insertion/Präzision der Bohrung

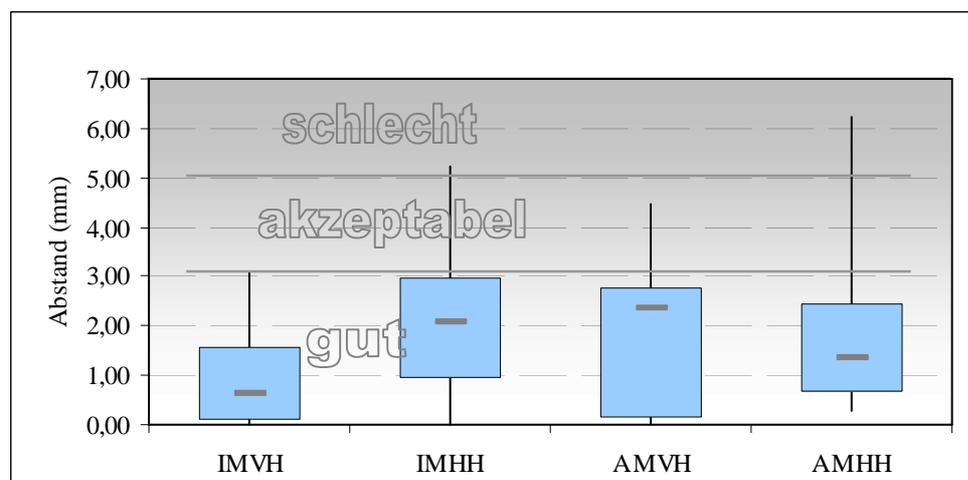
#### **4.6 Maximaler Abstand der Ränder von Bohrkanal und anatomischer Insertion**

Ermittelt wurden auch die Werte für den maximalen Abstand zwischen dem Rand des Bohrkanals beim Austritt auf dem Tibiaplateau und der anatomischen Insertionsfläche (Tab. 7 und Tab. 14 im Anhang). Den geringsten Abstand haben die Bohrungen auf das IMVH. Der maximale Abstand bleibt hier, wie auch für das AMVH, stets kleiner als 4,5 mm. Der mittlere Abstand für die Hinterhörner ist ähnlich. Drei Bohrkanäle waren weiter als 5 mm vom Rand der Insertion entfernt. Hierbei handelte es sich um zwei Bohrungen auf das AMHH (Abstand 6,2 bzw. 5,3 mm) und eine Bohrung auf das IMHH (Abstand 5,2 mm).

**Tabelle 7:** maximaler Abstand der Ränder von Bohrkanal und Insertion [mm]

	Innenmeniskus		Außenmeniskus	
	Vorderhorn	Hinterhorn	Vorderhorn	Hinterhorn
MW	0,85	2,08	1,96	1,96
Median	0,65	2,08	2,37	1,38
Maximum	3,10	5,22	4,46	6,23
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,27
SD	0,85	1,43	1,53	1,72

Darstellung des maximalen Abstands als Box- und Whisker-Plots. Enge Interquartilsabstände und ein relativ mittlerer Median sprechen für eine gleichmäßige Verteilung mit geringer Streuung. Lediglich für das AMHH zeigen sich Ausreißer oberhalb der 1,5 fachen Interquartilsspannweite (Abb. 10).

**Abb. 10:** graphische Darstellung des maximalen Abstands der Ränder von Bohrkanal und Insertion

In Anlehnung an die Arbeit von SEKARAN et al. (2002) wurden die Bohrungen nach dem maximalen Abstand der Ränder zusätzlich in drei Kategorien (Abstand < 3 mm = gut, 3 – 5 mm = akzeptabel, > 5 mm = schlecht) eingeteilt (Abb. 10 und Tab. 8).

**Tabelle 8:** Einteilung der Bohrungen in Kategorien nach dem maximalen Abstand der Ränder; Anzahl der Bohrungen und Relativwerte

	<u>Innenmeniskus</u>		<u>Außenmeniskus</u>		gesamt
	Vorderhorn	Hinterhorn	Vorderhorn	Hinterhorn	
< 3 mm	19 (95%)	16 (80%)	15 (75%)	16 (80%)	66 (82,5%)
3 - 5 mm	1 (5%)	3 (15%)	5 (25%)	2 (10%)	11 (13,75%)
> 5 mm	0 (0%)	1 (5%)	0 (0%)	2 (10%)	3 (3,75%)

Zwischen 75% (AMVH) und 95% (IMVH) der Bohrungen waren um weniger als 3 mm von der anatomischen Meniskusinsertion versetzt. Insgesamt lagen 66 Bohrungen in diesem Bereich. Eine Bohrung auf das IMVH und zwei auf das AMHH waren mehr als 5 mm von der ursprünglichen Insertion entfernt. Das entspricht insgesamt 3,75% der Bohrungen.

## **5. Diskussion**

Einer stabilen, anatomischen Befestigung des Transplantates an den Originalinsertionen wird als prognostischem Faktor für den Erfolg einer Meniskustransplantation große Bedeutung beigemessen (STONE, 1993; KOHN, 1994a; KOHN, 1994b; MILACHOWSKI, 1994; JOHNSON, 1995; CHEN, 1996; ALHALKI, 1999; GOBLE, 1999; URBAN, 1999; VERDONK, 1999; SZOMOR, 2000; RODEO, 2001; SEIL, 2005; MATAVA, 2007).

VON LEWINSKI et al. (2008) und LAZOVIC et al. (1997) führten in ihren Studien an Schafen anisometrische Transplantationen durch, indem sie das Vorderhorn des medialen Meniskus um 8 mm und das Hinterhorn um 10 mm von der ursprünglichen anatomischen Insertion versetzt befestigten. Bei den mit dieser Technik operierten Tieren fanden sie - im Vergleich zu einer isometrischen Fixation inkongruenter Transplantate bzw. zur Meniskektomie - radiologisch, makroskopisch und histologisch den höchsten Grad an Gelenkknorpeldegenerationen. Den Grund hierfür vermuteten sie darin, dass durch die anisometrische Fixierung der Insertionen die Zirkulärspannung der Meniskusfasern nachlässt und die lasttragende und lastverteilende Funktion des Meniskus somit - zumindest teilweise - verloren geht.

Zu ähnlichen Schlüssen kamen auch SEKARAN et al. (2002). In einer Leichenstudie, in der sie das Hinterhorn des Innenmeniskus um 5 mm nach medial bzw. posterior verschoben fixierten, beobachteten sie in der biomechanischen Prüfung erhöhte Kontaktdrücke und eine verschobene Kontaktzone auf dem Tibiaplateau. Sie empfahlen daher, dass die Insertion des Transplantates weniger als 5 mm von der anatomischen Lokalisation abweichen sollte, um die Ringspannung des Meniskus zu erhalten und damit eine möglichst physiologische lokale Druckverteilung herzustellen.

Prinzipiell stehen bei der Meniskustransplantation drei Techniken zur Fixation der Meniskusinsertionen zur Verfügung (SEKIYA, 2006a; KOHN, 1994b; RIJK, 2004; LUBOWITZ, 2007; SEIL, 2005; MATAVA, 2007; GREIS, 2002):

1. Nahtfixation durch Knochentunnel oder an Überresten des ursprünglichen Meniskus,
2. Knochenblöcke,
3. Knochenbrücken.

Daneben existieren diverse Varianten dieser Techniken. Die Meniskustransplantation wird heute zunehmend arthroskopisch durchgeführt. Dabei scheinen sich die Techniken mit anhängenden Knochenstücken durchzusetzen (KLIMKIEWICZ, 2002), da Leichenstudien für die knöcherne Fixation eine bessere Lastübertragung gezeigt haben (PALETTA, 1997; CHEN, 1996; ALHALKI, 1999; MCDERMOTT 2008) und es auch klinisch Hinweise auf deren Überlegenheit gibt (RIJK, 2004; SEKIYA, 2006b). Die Veröffentlichungen zu den Transplantationstechniken betonen die Wichtigkeit einer anatomisch korrekten Insertion der Meniskustransplantate (STONE, 1993; GOBLE, 1999; MENETREY, 1999; BOSS, 2000; STONE, 2003; NOYES, 2005; VERDONK, 2006b). Diese wird durch Reste des ursprünglichen Meniskus oder durch visuelle Kontrolle anhand anatomischer Landmarken zu erreichen versucht.

Problematisch bleibt aber die sichere intraoperative Bestimmung der ursprünglichen Meniskusinsertionen, insbesondere nach totaler Meniskektomie, wenn solche Reste fehlen oder nicht mehr sicher zu identifizieren sind. WILCOX et al. (1996) beschreiben die arthroskopische Positionierung eines Führungsdrahtes an der Stelle, die als Mitte der Insertion des Hinterhorns angenommen wurde. Die anschließend bestimmte Abweichung von der tatsächlichen Insertion betrug bis zu 6,2 mm in medialer und 5,7 mm in posteriorer Richtung. In Anbetracht der von SEKARAN et al. (2002) beobachteten Auswirkungen auf die Druckverteilung im Gelenk scheint dies jedoch zu ungenau, um die Funktion des Transplantates zu gewährleisten.

Der intraoperative Einsatz eines Bildwandlers, der auch von DIENST et al. (2006) für die arthroskopische Meniskustransplantation vorgeschlagen wird, und die Verwendung prozentualer Referenzwerte für die Meniskusinsertionen (WILMES, 2007; WILMES, 2008), wie in dieser Arbeit beschrieben, könnten im Falle einer schwierigen Insertionsbestimmung einen konkreteren Anhalt für die korrekte Positionierung der Bohrkanäle geben. Den gleichen Ansatz verfolgten bereits URBAN et al. (1999) in ihrer Arbeit zur röntgenologischen Position der lateralen Meniskusinsertionen. Sie geben eine gute Orientierung zur röntgenologischen Positionierung der Bohrkanäle, wobei eine präzise intraoperative Anwendung aufgrund der Angabe der Insertionslokalisationen als Mittelwerte in Zentimetern jedoch nicht möglich ist.

## **5.1 Material**

Wir führten unsere Studie an 20 formalinfixierten menschlichen Kniepräparaten durch. WILMES et al. (2007 und 2008) verwendeten ebenfalls solche Präparate. Andere Autoren arbeiteten in ähnlichen Studien mit frisch-gefrorenen (JOHNSON, 1995; POLLARD, 1995; URBAN, 1999) oder frischen Präparaten (KOHN, 1995; SHAFFER, 2000). Wir konnten keine fixationsbedingten strukturellen Veränderungen an Gelenkknorpel, Menisken oder Meniskusinsertionen feststellen. Lediglich die Knochenstruktur war osteoporotisch verändert, was in einigen Fällen zum Einbrechen der Bohrkanäle führte. Die Ergebnisse für diese Bohrungen wurden dadurch vermutlich verschlechtert. Präparate, die eine höhergradige Knorpelläsion (> Grad 2 nach JACKSON et al. (1992)) aufwiesen, wurden ausgeschlossen. Obwohl STONE et al. (2006) über eine mittelfristige Erfolgsrate von 89,4% bei Meniskustransplantationen in arthrotischen Gelenken (> Grad II nach OUTERBRIDGE (1961)) berichten, sieht die derzeit in der Literatur überwiegende Meinung in derartigen Situationen noch eine Kontraindikation für eine Meniskustransplantation (RIJK, 2004; SEKIYA, 2006a; LUBOWITZ, 2007,

MATAVA, 2007). Die Anwendbarkeit unserer Methode in Gelenken mit fortgeschrittener Arthrose ist fraglich.

Das relativ hohe mittlere Sterbealter der Körperspender (73,4 Jahre) steht im Gegensatz zur Indikation der Meniskustransplantation beim „jungen“ Patienten. Durch den Ausschluss von Gelenken mit altersbedingten, degenerativen (oder traumatischen) Meniskusschäden oder höhergradigen Knorpelläsionen sollten unsere Ergebnisse jedoch auch für diese Altersgruppe repräsentativ sein.

## **5.2 Methode**

### **5.2.1 Präparation**

Wir disartikulierten die Tibiaköpfe und entfernten sämtliche Weichteile, wie bereits mehrfach zuvor beschrieben (KOHN, 1994b; JOHNSON, 1995; URBAN, 1999; WILMES, 2007; WILMES, 2008, BERLET, 1998). KOHN und MORENO (1994b) markierten die Ansatzstellen der Menisken mit Hilfe der pyrographischen Methode nach SKLAVUNOS (1987). Für unsere Zwecke - mit den direkt im Anschluss an die Präparation angefertigten Fotos - wurde eine farbliche Markierung mit einem Permanentmarker als angemessen betrachtet.

### **5.2.2 Fotos**

Zur Auswertung der Bohrpräzision wurden Fotos der Tibiaplateaus vor und nach den Bohrungen gemacht und anschließend durch Überlagerung miteinander verglichen. Ein ähnliches Verfahren wurde von DIENST et al. (2007) beschrieben, die mehrere drucksensitive Filme mit dem Bild des Tibiaplateaus überlagerten. Sie orientierten sich an der posterioren und lateralen Kante des Tibiaplateaus sowie an zwei Bohrlöchern auf der Gelenkfläche.

Trotz der Standardisierung der Fotos zeigten sich geringe Unterschiede der Bilder bei der digitalen Überlagerung. Diese sind wahrscheinlich auf abweichende Lagen der Tibialängsachsen zurückzuführen. Dadurch befand sich das Tibiaplateau nicht immer genau parallel zur Bildebene. Die zentralen, insertionsnahen Strukturen des Tibiaplateaus ließen sich trotzdem mit einer hohen Genauigkeit überlagern.

Allerdings werden die zweidimensionalen Fotos der komplexen dreidimensionalen Anatomie des Tibiaplateaus nicht vollständig gerecht. Dies kommt beispielsweise darin zum Ausdruck, dass für die Bohrflächen, die bei dem verwendeten 6 mm Bohrer stets eine Größe von mindestens  $28,27 \text{ mm}^2$  (Kreisfläche =  $\pi r^2$ , Mindestgröße bei streng senkrecht zum Tibiaplateau verlaufendem Tunnelaustritt) haben müssten, häufig jedoch kleinere Werte gemessen wurden. Es wird vermutet, dass in diesen Fällen Bildebene und „Bohrebene“ nicht parallel zueinander lagen. Dafür spricht auch, dass für die Bohrungen auf die Insertionen des AMHH in der posterioren „Schräge“ (slope) des lateralen Tuberkels (JOHNSON, 1995; URBAN, 1999) die kleinsten Werte für die Bohrflächen ermittelt wurden. Die Präzision dieser Methode scheint dennoch gut zu sein. Unsere Werte für die Insertionsflächen sind mit den von JOHNSON et al. (1995) mit einem dreidimensionalen System erhobenen Daten vergleichbar.

### **5.2.3 Bohrung**

Die Anlage der Bohrkanäle entspricht dem arthroskopischen Vorgehen zur Verankerung des Transplantates mit Knochenblöcken, wie von JOHNSON et al. (1995) und GOBLE et al. (1999) beschrieben. Vom Prinzip her ist aber auch das Vorgehen bei reiner Nahtfixation der Meniskushörner durch Knochentunnel ähnlich (STONE, 1993; BOSS, 2000; DIENST, 2006; SEKIYA, 2006a). Auch für die lateralen Meniskusinsertionen verwendeten wir dieses Vorgehen, wenngleich laterale Menisken wegen ihrer engen anatomischen Beziehung häufig mit

zusammenhängender Knochenbrücke transplantiert werden (SEKIYA, 2006a; LUBOWITZ, 2007).

Schwierig gestaltete sich teilweise das Einsetzen des ACL-Zielgerätes. Zum Einen geriet der Zielmarkierungshaken, dessen Form auf die spezielle Anatomie der Insertion des vorderen Kreuzbandes ausgerichtet ist, beim Aufsetzen auf die Insertionen der Hinterhörner durch die interkondylären Tuberkel als räumliche Hindernisse unter Spannung. Der K-Draht konnte dadurch weniger präzise positioniert werden. Zum Anderen lässt das verwendete Zielgerät zwar optisch den Austrittspunkt des Führungsdrahtes (Zielpunkt) genau erkennen, mit dem Bildwandler ist das aber weniger genau möglich. Die röntgenologische Positionskontrolle erschwerte sich hierdurch.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle ergab sich aus der Positionierung des C-Bogens. Zur Überprüfung und Korrektur der Zielgerätposition mussten wir zwischen a.p. und lateraler Aufnahmeposition wechseln. Dabei musste der C-Bogen jeweils in die möglichst exakt gleiche Stellung gebracht werden. Kam es hierbei zu Verschiebungen der Bildebenen, wurde die Position des Zielgerätes eventuell falsch bestimmt.

#### **5.2.4 Auswertung**

Angaben oder Erfahrungen zur Anwendung und Präzision des verwendeten Messprogramms sind uns nicht bekannt. In einem Vorversuch fanden wir die reproduzierbarsten Werte für eine Kalibrierung über 10 mm bei 200% vergrößertem Bild und einer Messung bei 100%.

Die Bohrpräzision kann im besten Fall den Wert 100% annehmen. Dennoch erhielten wir einige größere Werte. Diese sind wohl durch die Messgrenzen des von uns verwendeten Systems: Messprogramm – Computer – Mouse bedingt. Das Programm gibt für ein Pixel je nach Kalibrierung etwa eine Strecke von 0,11 mm an. Der kleinste mit der Computermaus zu differenzierende Abstand lag bei zwei Pixeln.

Bei einer gemessenen Fläche von  $18 \text{ mm}^2$ , das entspricht der mittleren Bohrfläche auf das AMHH, ergibt eine Abweichung um nur eine solche Einheit (also zwei Pixel oder  $0,22 \text{ mm}$ ) einen Flächenunterschied von  $1,9 \text{ mm}^2$  (10,6%). Die entsprechenden Werte wurden daher auf 100% korrigiert.

## **5.3 Ergebnisse**

### **5.3.1 Bohrpräzision**

Die Anbohrung der Meniskusinsertionen gelang im Mittel mit einer Präzision zwischen **58,1 und 86,5%**. Für alle Überschneidungen zwischen Tunnelaustrittsfläche und anatomischer Insertion fanden wir jedoch relativ hohe Standardabweichungen bis zu 32,4%. Für die einzelne Insertion kann die Präzision also unter Umständen schlechter oder besser sein. Für das aufgrund der komplexen posterioren Tibiaanatomie besonders schwer anzusteuern AMHH (KOHN, 1994b; URBAN, 1999) sank die Präzision in wenigen Fällen gar bis auf null Prozent. Der hohe Medianwert (71,2%) verdeutlicht aber, dass es sich hierbei um seltene Extremwerte handelte. Die genaueste Anbohrung gelang auf das IMVH. Hier sank die Präzision nicht unter 53%, die Ergebnisse waren konstant gut (geringe Standardabweichung).

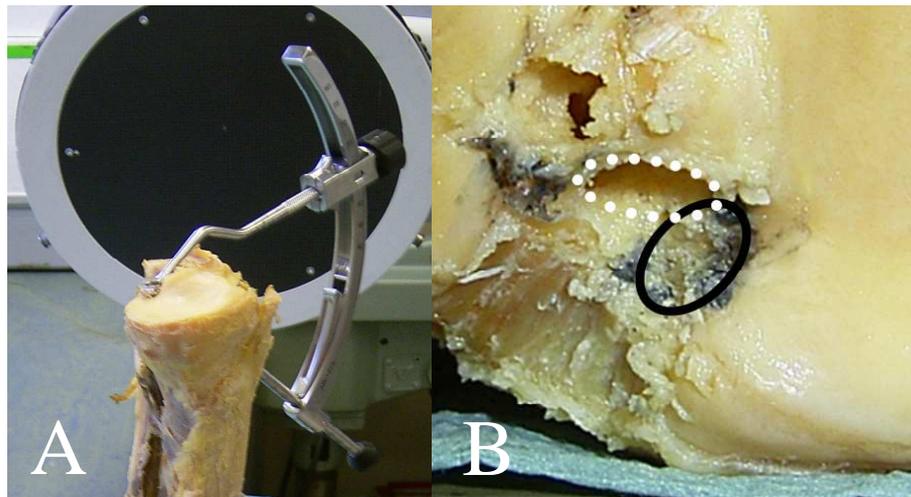
### **5.3.2 Maximaler Abstand der Ränder**

Eine wichtige Aussage zur Bohrpräzision liefert der maximale Abstand der Ränder. Obwohl die Angaben zu diesem Thema in der Literatur spärlich sind, sollte diese Distanz unter 5 mm liegen um eine biomechanisch korrekte Transplantatfunktion zu gewährleisten (SEKARAN, 2002). In Anlehnung an diese Arbeit, haben wir die erzielte Präzision in drei Kategorien unterteilt:

- a) Distanz  $> 5$  mm = Versager  $\rightarrow 3,75\%$  der Versuche,
- b) Distanz  $3 - 5$  mm = akzeptabel  $\rightarrow 13,75\%$  der Versuche,
- c) Distanz  $< 3$  mm = gutes Ergebnis  $\rightarrow 82,5\%$  der Versuche.

Entsprechend der hohen Bohrpräzision gelang die Anbohrung des IMVH auch mit der geringsten Abweichung. Diese betrug im Mittel nur 0,9 mm. 95% der Bohrungen waren gut, also um weniger als 3 mm von der anatomischen Insertion versetzt. Die Insertionsfläche des IMVH ist flach und relativ gut zugänglich. Dadurch lies sich das Zielgerät hier sehr leicht und sicher platzieren. Außerdem war auch die Zielgerätposition mit dem Bildwandler gut zu kontrollieren, weil es keine Überlagerungen gab. Hinzu kam, dass die Ebene dieser Insertion fast exakt der Bildebene auf den Fotos entsprach und so die präziseste Auswertung ermöglichte. Weiterhin spielte eine Rolle, dass die größte Insertionsfläche, also die des IMVH, auch am leichtesten zu treffen war. Zusammengenommen bieten diese Punkte wohl eine schlüssige Erklärung für die, im Vergleich zu den übrigen drei Insertionen, doch sehr hohe Präzision der Bohrungen auf das IMVH.

Sieht man von zwei Ausreißern beim AMHH und einem Extremwert beim IMHH ab, ist der Bohrkanal unter Berücksichtigung von Mittelwert und Standardabweichung nie mehr als 4,5 mm von der anatomischen Meniskusinsertion entfernt. 80% der Bohrungen auf die Hinterhörner hatten eine Präzision kleiner als 3 mm. Drei Bohrungen hatten einen Abstand von mehr als 5 mm und müssen als Versager gewertet werden, da nach SEKARAN et al. (2002) ein Abstand größer 5 mm zum Versagen des Meniskustransplantates führen kann. In diesen Fällen war die mangelnde Präzision wohl im Wesentlichen durch die bereits unter 5.2.3 diskutierten Probleme beim Einsetzen des Zielgerätes (räumliche Hindernisse, ungenaue röntgenologische Positionskontrolle) bedingt (Abb. 11, A). In zwei Fällen verlief der Bohrkanal zusätzlich so schräg zum Tibiaplateau, dass eine lange, querovale Bohrfläche entstand, die den großen Abstand der Ränder mitbedingte (Abb. 11, B).



**Abb. 11:** A) eingesetztes Zielgerät, B) ovale Austrittsfläche eines Bohrkanals (weiß, gepunktet) im Bezug zur Insertion (schwarz)

Die Präzision aller Bohrkanäle war in 82,5% der Bohrungen mit einem Abstand der Ränder von weniger als 3 mm gut. Insgesamt gelang die Anlage von 96,3% der Bohrkanälen unter Verwendung unserer Methode, mit einer Präzision innerhalb der von SEKARAN et al. (2002) beschriebenen 5 mm.

#### **5.4 Einschränkungen der Studie**

Wie bereits oben diskutiert, wies diese Studie verschiedene Einschränkungen auf. Das hohe mittlere Sterbealter der Körperspender entsprach nicht dem Alter des Patientenkollektivs für eine Meniskustransplantation.

Durch das Einbrechen einiger Bohrkanäle in Folge der veränderten Knochenstruktur wurde die Bohrpräzision beeinflusst. Präzise Bohrungen waren außerdem dadurch erschwert, dass das Zielgerät nicht optimal auf die komplexe dreidimensionale Anatomie der Meniskusinsertionen abgestimmt war. Es konnte in unserem Versuchsmodell mit präpariertem, freistehendem Tibiakopf jedoch unbeeinflusst von Femur oder Weichteilen positioniert werden. Dies wäre intraoperativ bei

vollständigem Kniegelenk, insbesondere im arthroskopisch schwer zugänglichen Hinterhornbereich nur erschwert möglich. Das galt in ähnlicher Weise auch für die intraoperative Positionierung des C-Bogens, die sicher reproduzierbare Aufnahmen in streng a.p.- und streng lateraler Ebene gewährleisten muss.

Weiterhin bestanden Einschränkungen durch die zweidimensionale Darstellung der komplexen Struktur des Tibiaplateaus und die daraus resultierenden Messungenauigkeiten. Zu diesen trug auch die Präzision des Meßsystems mit einer Genauigkeit von etwa  $\pm 1,9 \text{ mm}^2$  bei.

Diese Einschränkungen können einen Einfluss auf unsere Ergebnisse gehabt haben.

## **5.5 Anwendung**

Die nächste Stufe wäre die klinische, intraoperative Anwendung dieser Methode zur Anbohrung der Meniskusinsertionen für die Meniskustransplantation mit Nähten, Knochenblöcken oder Knochenbrücken in drei konkreten Schritten:

Schritt 1: röntgenologische Bestimmung der Insertionsmittelpunkte anhand prozentualer Referenzwerte,

Schritt 2: Bildwandlerkontrolliertes Einsetzen eines tibialen Zielgerätes auf diese Punkte,

Schritt 3: Platzierung der Bohrkanäle mit Hilfe des Zielgerätes.

Besondere Aufmerksamkeit muss hierbei der Lagerung des Patienten sowie der Positionierung des C-Bogens gelten. Beides muss derart geschehen, dass zur Platzierung des Zielgerätes reproduzierbare Bilder in zwei Ebenen erstellt werden können. Hilfreich wäre die Entwicklung und Verwendung eines Zielmarkierungshakens, der die spezielle Anatomie der Meniskusinsertionen berücksichtigt und den Zielpunkt auch radiographisch genau definiert.

Unsere Ergebnisse könnten die Grundlage einer zukünftigen navigierten Anbohrung der Insertionen darstellen. Durch die navigierte Bohrung könnten die

materialbedingten Einschränkungen unserer Methode aufgehoben werden. Dadurch wären vermutlich noch präzisere Bohrungen möglich.

## **6. Schlussfolgerung**

Die Bohrung von tibialen Knochenkanälen zur Transplantatfixation bei Meniskustransplantationen mit Hilfe eines tibialen Zielgerätes unter Verwendung prozentualer Referenzwerte gelang mit einer Präzision zwischen 58,1 und 86,5 % in Relation zu den anatomischen Meniskusinsertionen. Das entsprach einer Abweichung der Transplantatinsertionen von der anatomischen Insertion um 0,9 bis 2,1 mm. Wir glauben, dass diese Technik eine verlässliche Möglichkeit zur präzisen Bestimmung der korrekten Insertionslokalisation bietet. Der Operateur hat damit intraoperativ einen sicheren und objektivierbaren Anhalt für die Platzierung der Bohrkanäle zur Transplantatfixation innerhalb der biomechanisch notwendigen Grenzen. Dies gilt insbesondere für die Fälle, in denen eine Orientierung an Resten des ursprünglichen Meniskus nicht mehr möglich ist. Die kongruente Positionierung der Transplantatinsertionen, eine der wichtigsten Anforderungen für eine erfolgreiche Meniskustransplantation, ist so sicher zu erreichen, so dass unsere Arbeitshypothese bestätigt werden konnte.

## 7. Anhang

**Tabelle 9:** Größe der Insertionsflächen, Mittelwerte aus je drei Messungen [mm<sup>2</sup>]

Nummer	Innenmeniskus		Außenmeniskus	
	Vorderhorn	Hinterhorn	Vorderhorn	Hinterhorn
<b>1143 R</b>	46,37	56,95	35,52	27,35
<b>1143 L</b>	50,37	38,10	23,27	16,72
<b>1148 R</b>	56,54	47,39	40,83	19,47
<b>1148 L</b>	52,73	49,01	50,39	17,22
<b>1153 R</b>	63,73	33,23	40,52	28,54
<b>1153 L</b>	54,29	32,89	43,87	20,32
<b>1156 R</b>	56,87	33,30	50,31	31,35
<b>1156 L</b>	44,83	46,57	34,41	36,51
<b>1158 R</b>	33,73	37,26	34,42	35,87
<b>1158 L</b>	49,26	39,47	41,85	33,00
<b>1169 R</b>	57,13	43,71	45,80	34,92
<b>1169 L</b>	64,56	39,10	52,46	27,75
<b>1199 R</b>	49,36	43,80	39,09	33,35
<b>1199 L</b>	54,90	39,66	25,08	17,94
<b>1201 R</b>	59,15	42,47	43,29	21,06
<b>1201 L</b>	55,86	33,04	31,03	28,87
<b>1202 R</b>	60,42	32,52	34,92	32,90
<b>1202 L</b>	53,58	35,64	51,76	33,85
<b>1209 R</b>	45,03	43,70	41,09	28,18
<b>1209 L</b>	45,51	45,14	60,44	26,39
<b>MW</b>	52,71	40,65	41,02	27,58
<b>Median</b>	53,94	39,57	40,96	28,36
<b>Maximum</b>	64,56	56,95	60,44	36,51
<b>Minimum</b>	33,73	32,52	23,27	16,72
<b>SD</b>	7,38	6,53	9,35	6,61

**Tabelle 10:** Größe der Bohrflächen und der Überschneidung von Bohrfläche und Insertion (Mittelwerte aus je drei Messungen) [mm<sup>2</sup>], Bohrpräzision [%] für das Innenmeniskusvorderhorn

<b>Innenmeniskusvorderhorn</b>			
<b>Nummer</b>	<b>Bohrfläche</b>	<b>Überschneidung</b>	<b>Bohrpräzision</b>
<b>1143 R</b>	26,15	28,46	108,83
<b>1143 L</b>	31,49	24,35	77,32
<b>1148 R</b>	20,88	16,93	81,10
<b>1148 L</b>	24,38	19,59	80,37
<b>1153 R</b>	26,88	27,98	104,10
<b>1153 L</b>	28,66	25,64	89,45
<b>1156 R</b>	21,54	24,23	112,49
<b>1156 L</b>	30,71	31,82	103,63
<b>1158 R</b>	17,76	18,13	102,06
<b>1158 L</b>	28,44	15,34	53,93
<b>1169 R</b>	28,95	23,54	81,31
<b>1169 L</b>	26,56	27,44	103,31
<b>1199 R</b>	23,18	20,24	87,32
<b>1199 L</b>	22,75	14,95	65,73
<b>1201 R</b>	26,71	27,65	103,52
<b>1201 L</b>	29,81	23,76	79,70
<b>1202 R</b>	41,69	35,90	86,11
<b>1202 L</b>	35,37	33,22	93,93
<b>1209 R</b>	20,52	16,75	81,63
<b>1209 L</b>	35,16	25,12	71,44
<b>MW</b>	27,38	24,05	88,36
<b>Median</b>	26,80	24,29	86,71
<b>Maximum</b>	41,69	35,90	112,49
<b>Minimum</b>	17,76	14,95	53,93
<b>SD</b>	5,78	5,99	15,48

**Tabelle 11:** Größe der Bohrflächen und der Überschneidung von Bohrfläche und Insertion (Mittelwerte aus je drei Messungen) [mm<sup>2</sup>], Bohrpräzision [%] für das Innenmeniskushinterhorn

<b>Innenmeniskushinterhorn</b>			
<b>Nummer</b>	<b>Bohrfläche</b>	<b>Überschneidung</b>	<b>Bohrpräzision</b>
<b>1143 R</b>	23,40	8,93	38,18
<b>1143 L</b>	19,44	5,15	26,47
<b>1148 R</b>	17,06	3,37	19,75
<b>1148 L</b>	19,07	19,27	101,05
<b>1153 R</b>	25,88	21,42	82,77
<b>1153 L</b>	17,94	6,50	36,25
<b>1156 R</b>	13,33	3,04	22,81
<b>1156 L</b>	22,91	11,95	52,18
<b>1158 R</b>	18,71	10,23	54,66
<b>1158 L</b>	16,86	16,50	97,84
<b>1169 R</b>	18,28	18,90	103,37
<b>1169 L</b>	12,85	13,58	105,65
<b>1199 R</b>	19,77	16,92	85,58
<b>1199 L</b>	17,14	2,09	12,21
<b>1201 R</b>	17,00	16,57	97,47
<b>1201 L</b>	19,25	9,14	47,49
<b>1202 R</b>	21,06	4,89	23,21
<b>1202 L</b>	19,60	11,30	57,68
<b>1209 R</b>	28,60	21,75	76,06
<b>1209 L</b>	19,22	12,69	66,01
<b>MW</b>	19,37	11,71	60,33
<b>Median</b>	19,15	11,63	56,17
<b>Maximum</b>	28,60	21,75	105,65
<b>Minimum</b>	12,85	2,09	12,21
<b>SD</b>	3,73	6,29	31,63

**Tabelle 12:** Größe der Bohrflächen und der Überschneidung von Bohrfläche und Insertion (Mittelwerte aus je drei Messungen) [mm<sup>2</sup>], Bohrpräzision [%] für das Außenmeniskusvorderhorn

<b>Außenmeniskusvorderhorn</b>			
<b>Nummer</b>	<b>Bohrfläche</b>	<b>Überschneidung</b>	<b>Bohrpräzision</b>
<b>1143 R</b>	18,63	20,96	112,49
<b>1143 L</b>	23,53	9,60	40,80
<b>1148 R</b>	20,77	21,51	103,58
<b>1148 L</b>	25,12	17,06	67,91
<b>1153 R</b>	21,77	5,90	27,12
<b>1153 L</b>	13,95	3,72	26,64
<b>1156 R</b>	21,77	24,07	110,55
<b>1156 L</b>	18,66	5,17	27,72
<b>1158 R</b>	19,04	3,05	16,04
<b>1158 L</b>	17,41	17,94	103,06
<b>1169 R</b>	22,71	15,33	67,49
<b>1169 L</b>	20,52	18,12	88,32
<b>1199 R</b>	20,46	3,76	18,36
<b>1199 L</b>	16,50	6,85	41,52
<b>1201 R</b>	21,97	22,82	103,87
<b>1201 L</b>	20,69	7,88	38,09
<b>1202 R</b>	26,03	8,69	33,40
<b>1202 L</b>	25,61	6,93	27,05
<b>1209 R</b>	20,29	18,95	93,43
<b>1209 L</b>	26,53	12,90	48,62
<b>MW</b>	21,10	12,56	59,80
<b>Median</b>	20,73	11,25	45,07
<b>Maximum</b>	26,53	24,07	112,49
<b>Minimum</b>	13,95	3,05	16,04
<b>SD</b>	3,28	7,15	34,82

**Tabelle 13:** Größe der Bohrflächen und der Überschneidung von Bohrfläche und Insertion (Mittelwerte aus je drei Messungen) [mm<sup>2</sup>], Bohrpräzision [%] für das Außenmeniskushinterhorn

<b>Außenmeniskushinterhorn</b>			
<b>Nummer</b>	<b>Bohrfläche</b>	<b>Überschneidung</b>	<b>Bohrpräzision</b>
<b>1143 R</b>	19,56	15,97	81,65
<b>1143 L</b>	22,17	1,82	8,22
<b>1148 R</b>	15,96	10,98	68,82
<b>1148 L</b>	20,99	11,66	55,55
<b>1153 R</b>	17,33	14,73	84,98
<b>1153 L</b>	17,41	7,14	41,01
<b>1156 R</b>	15,03	11,41	75,89
<b>1156 L</b>	20,51	21,19	103,32
<b>1158 R</b>	21,23	17,30	81,47
<b>1158 L</b>	16,23	0,00	0,00
<b>1169 R</b>	15,52	15,55	100,21
<b>1169 L</b>	15,53	11,03	71,05
<b>1199 R</b>	15,36	16,11	104,86
<b>1199 L</b>	18,65	0,00	0,00
<b>1201 R</b>	14,82	4,71	31,76
<b>1201 L</b>	16,06	13,19	82,17
<b>1202 R</b>	19,16	9,75	50,87
<b>1202 L</b>	19,08	14,86	77,88
<b>1209 R</b>	17,71	12,64	71,39
<b>1209 L</b>	18,54	10,48	56,52
<b>MW</b>	17,84	11,03	62,38
<b>Median</b>	17,56	11,53	71,22
<b>Maximum</b>	22,17	21,19	104,86
<b>Minimum</b>	14,82	0,00	0,00
<b>SD</b>	2,27	5,78	32,03

**Tabelle 14:** maximaler Abstand der Ränder von Bohrkanal und Insertion (Mittelwerte aus je drei Messungen) [mm]

<b>Nummer</b>	<b>Innenmeniskus</b>		<b>Außenmeniskus</b>	
	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>	<b>Vorderhorn</b>	<b>Hinterhorn</b>
<b>1143 R</b>	0,00	4,04	0,00	1,85
<b>1143 L</b>	0,73	3,30	2,23	5,33
<b>1148 R</b>	1,62	3,66	0,13	1,36
<b>1148 L</b>	1,59	0,30	2,66	2,02
<b>1153 R</b>	0,00	1,79	3,03	0,30
<b>1153 L</b>	1,58	2,95	2,61	3,27
<b>1156 R</b>	0,00	2,44	0,00	2,44
<b>1156 L</b>	0,19	2,98	2,69	0,55
<b>1158 R</b>	0,23	2,73	3,83	1,40
<b>1158 L</b>	3,10	0,67	0,00	4,70
<b>1169 R</b>	1,99	0,00	1,79	0,27
<b>1169 L</b>	0,13	0,00	0,45	1,17
<b>1199 R</b>	0,63	1,07	4,43	0,47
<b>1199 L</b>	1,58	5,22	3,23	6,23
<b>1201 R</b>	0,00	0,33	0,17	2,50
<b>1201 L</b>	1,43	2,17	2,57	0,27
<b>1202 R</b>	0,89	2,74	4,46	1,95
<b>1202 L</b>	0,13	1,89	2,50	0,74
<b>1209 R</b>	0,47	1,28	0,13	1,28
<b>1209 L</b>	0,67	1,99	2,18	1,09
<b>MW</b>	0,85	2,08	1,96	1,96
<b>Median</b>	0,65	2,08	2,37	1,38
<b>Maximum</b>	3,10	5,22	4,46	6,23
<b>Minimum</b>	0,00	0,00	0,00	0,27
<b>SD</b>	0,85	1,43	1,53	1,72

## **8. Literaturverzeichnis**

1. Alhalki M, Howell S, Hull M.  
How three methods for fixing a medial meniscal allograft affect tibial contact mechanics.  
*Am J Sports Med.* 1999;27:320–328.
2. 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.
3. Allen P, Denham R, Swan A.  
Late degenerative changes after meniscectomy: factors affecting the knee after operation.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1984;66:666–671.
4. Baker BE, Peckham AC, Pupparo F, Sanborn JC.  
Review of meniscal injury and associated sports.  
*Am J Sports Med.* 1985 Jan-Feb;13(1):1-4.
5. Baratz M, Fu F, Mengato R.  
Meniscal tears: the effect of meniscectomy and of repair on intra-articular contact areas and stress in the human knee: a preliminary report.  
*Am J Sports Med.* 1986;14:270–275.

6. 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.
7. Boss A, Klimkiewicz J, Fu FH.  
Technical innovation: Creation of a peripheral vascularized trough to enhance healing in cryopreserved meniscal allograft reconstruction.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2000;8:159-162.
8. Bull AMJ, Amis A.  
Biomechanik.  
In: Wirth CJ, Zichner L, Kohn D (eds): *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Knie.* 5.Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (2005), pp 35-52
9. Bullough PG, Munuera L, Murphy J, Weinstein AM.  
The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1970 Aug;52(3):564-7.
10. Chen M, Branch T, Hutton W.  
Is it important to secure the horns during lateral meniscal transplantation? A cadaveric study.  
*Arthroscopy.* 1996;12:174–181.
11. Cox J, Nye C, Schaefer W, Woodstein I.  
The degenerative effects of partial and total resection of the medial meniscus in dogs' knees.  
*Clin Orthop Relat Res.* 1975;109:178–183.

12. DeHaven KE.  
Decision-making factors in the treatment of meniscus lesions.  
*Clin Orthop Relat Res.* 1990 Mar;(252):49-54. Review.
13. DeHaven KE, Black KP, Griffiths HJ.  
Open meniscus repair. Technique and two to nine year results.  
*Am J Sports Med.* 1989 Nov-Dec;17(6):788-95. Review.
14. Deie M, Sumen Y, Adachi N, Nakamae A, Miyamoto A, Kanaya A, Ochi M.  
The long-term results of meniscus transplantation for articular cartilage defects in the knee joint.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:61-66.
15. Dienst M, Kohn D.  
[Allogenic meniscus transplantation]  
*Oper Orthop Traumatol.* 2006 Dec;18(5-6):463-80. Review.
16. Dienst M, Greis PE, Ellis BJ, Bachus KN, Burks RT.  
Effect of lateral meniscal allograft sizing on contact mechanics of the lateral tibial plateau: an experimental study in human cadaveric knee joints.  
*Am J Sports Med.* 2007 Jan;35(1):34-42.
17. Fairbank T.  
Knee joint changes after meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1948;30:664-670.

18. Fukubayashi T, Kurosawa H.  
The contact area and pressure distribution pattern of the knee: a study of normal and osteoarthritic knee joints.  
*Acta Orthop Scand.* 1980;51:871–879.
19. 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.
20. Greis PE, Bardana DD, Holmstrom MC, Burks RT.  
Meniscal injury: I. Basic science and evaluation.  
*J Am Acad Orthop Surg.* 2002;10:168-176.
21. 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.
22. Hede A, Jensen DB, Blyme P, Sonne-Holm S.  
Epidemiology of meniscal lesions in the knee. 1,215 open operations in Copenhagen 1982-84.  
*Acta Orthop Scand.* 1990 Oct;61(5):435-7.
23. Hommen JP, Applegate GR, Del Pizzo W.  
Meniscus allograft transplantation: Ten-year results of cryopreserved allografts.  
*Arthroscopy.* 2007;23:388-393.

24. Huang A, Hull ML, Howell SM.  
The level of compressive load affects conclusions from statistical analyses to determine whether a lateral meniscal autograft restores tibial contact pressure to normal: A study in human cadaveric knees.  
*J Orthop Res.* 2003;21:459-464.
25. Ihn JC, Kim SJ, Park IH.  
In vitro study of contact area and pressure distribution in the human knee after partial and total meniscectomy.  
*Int Orthop.* 1993;17(4):214-8.
26. Jackson D, McDevitt C, Simon T, Arnoczky S, Atwell E, Silvino N.  
Meniscal transplantation using fresh and cryopreserved allografts: an experimental study in goats.  
*Am J Sports Med.* 1992;20:644-656.
27. Jackson JP.  
Degenerative changes in the knee after meniscectomy.  
*BMJ.* 1968;2:525-527.
28. 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;11:386-394.
29. Johnson R, Kettlekamp D, Clark W, Leaveron P.  
Factors affecting late results after meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Am.* 1974;56:719-729.

30. Jørgensen U, Sonne-Holm U, Lauridsen F, Rosenklint A.  
A longterm follow-up of meniscectomy in athletes.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1987;69:80–83.
31. Klimkiewicz JJ, Shaffer B.  
Meniscal surgery 2002 update: indications and techniques for resection, repair, regeneration, and replacement.  
*Arthroscopy.* 2002 Nov-Dec;18(9 Suppl 2):14-25. Review.
32. Kohn D.  
Meniskusersatz.  
*Orthopäde.* 1994 Apr;23(2):164-70.
33. Kohn D, Moreno B.  
Meniskusinsertionen.  
*Orthopäde.* 1994 Apr;23(2):98-101.
34. Kohn D, Moreno B.  
Meniscus insertion anatomy as a basis for meniscus replacement: a morphological cadaveric study.  
*Arthroscopy.* 1995 Feb;11(1):96-103.
35. 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.

36. Lubowitz JH, Verdonk PC, Reid JB 3rd, Verdonk R.  
Meniscus allograft transplantation: a current concepts review.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 May;15(5):476-92. Epub 2007 Feb 28.
37. Matava MJ.  
Meniscal allograft transplantation: a systematic review.  
*Clin Orthop Relat Res.* 2007 Feb;455:142-57. Review.
38. McDermott ID, Amis AA.  
The consequences of meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Br.* 2006 Dec;88(12):1549-56. Review.
39. McDermott ID, Lie DT, Edwards A, Bull AM, Amis AA.  
The effects of lateral meniscal allograft transplantation techniques on tibio-femoral contact pressures.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008 Jun;16(6):553-60.
40. Menetrey J, Jones DG, Ernlund LS, Fu FH.  
Posterior peripheral sutures in meniscal allograft replacement.  
*Arthroscopy.* 1999 Sep;15(6):663-8.
41. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ.  
Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results.  
*Int Orthop.* 1989;13(1):1-11.
42. Nielsen AB, Yde J.  
Epidemiology of acute knee injuries: a prospective hospital investigation.  
*J Trauma.* 1991 Dec;31(12):1644-8.

43. Noyes F, Barber-Westin S, Rankin M.  
Meniscal transplantation in symptomatic patients less than fifty years old.  
*J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:1392–1404.
44. Outerbridge R.  
The etiology of chondromalacia patellae.  
*J Bone Joint Surg Br.* 1961;43:752–757.
45. Paletta G, Manning T, Snell E, Parker R, Bergfeld J.  
The effect of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area  
and  
pressures in the human knee: a biomechanical study.  
*Am J Sports Med.* 1997;25:692–698.
46. Peters G, Wirth CJ.  
The current state of meniscal allograft transplantation and replacement.  
*Knee.* 2003 Mar;10(1):19-31. Review.
47. Pollard M, Kang Q, Berg E.  
Radiographic sizing for meniscal transplantation.  
*Arthroscopy.* 1995;11:684–687.
48. Rijk PC.  
Meniscal allograft transplantation - part I: background, results, graft selection  
and preservation, and surgical considerations.  
*Arthroscopy.* 2004 Sep;20(7):728-43. Review.

49. Rodeo SA.  
Meniscal allografts - where do we stand?  
*Am J Sports Med.* 2001 Mar-Apr;29(2):246-61.
50. Slavunos G.  
Über eine einfache Methode zur Feststellung und Abbildung der Umrisse der Muskelansätze.  
*Anat. Anz.* 1907;30:64-69
51. Seil R.  
Meniskusschäden.  
In: Wirth CJ, Zichner L, Kohn D (eds): *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie. Knie.* 5.Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (2005), pp 218-245
52. Sekaran SV, Hull ML, Howell SM.  
Nonanatomic location of the posterior horn of a medial meniscus autograft implanted in a cadaveric knee adversely affects the pressure distribution on the tibial plateau.  
*Am J Sports Med.* 2002;30:74-82.
53. Sekiya JK, Ellingson CI.  
Meniscal allograft transplantation.  
*J Am Acad Orthop Surg.* 2006 Mar;14(3):164-74. Review.
54. Sekiya JK, West RV, Groff YJ, Irrgang JJ, Fu FH, Harner CD.  
Clinical outcomes following isolated lateral meniscal allograft transplantation.  
*Arthroscopy.* 2006;22:771-780.

55. Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J, Yao L.  
Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation.  
*Am J Sports Med.* 2000;28:524–533.
56. Stone KR, Rosenberg T.  
Surgical technique of meniscal replacement.  
*Arthroscopy.* 1993;9(2):234-7.
57. Stone KR, Walgenbach AW.  
Meniscal allografting: the three-tunnel technique.  
*Arthroscopy.* 2003 Apr;19(4):426-30.
58. Stone KR, Walgenbach AW, Turek TJ, Freyer A, Hill MD.  
Meniscus allograft survival in patients with moderate to severe unicompartmental arthritis: A 2- to 7-year follow-up.  
*Arthroscopy.* 2006;22:469-478.
59. 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.
60. 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.

61. Veltri DM, Warren RF, Wickiewicz TL, O'Brien SJ.  
Current status of allograft meniscal transplantation.  
*Clin Orthop*. 1994 Jun;(303):44-55. Review.
62. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.  
Transplantation of viable meniscal allograft: survivorship analysis and clinical outcome of one hundred cases.  
*J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:715-724.
63. Verdonk PC, Verstraete KL, Almqvist KF, De Cuyper K, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.  
Meniscal allograft transplantation: Long-term clinical results with radiological and magnetic resonance imaging correlations.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14:694-706.
64. Verdonk PC, Demurie A, Almqvist KF, Veys EM, Verbruggen G, Verdonk R.  
Transplantation of viable meniscal allograft. Surgical technique.  
*J Bone Joint Surg Am*. 2006 Mar;88 Suppl 1 Pt 1:109-18. Review.
65. Verdonk R, Kohn D.  
Meniscus transplantation: preoperative planning.  
*Scand J Med Sci Sports*. 1999 Jun;9(3):160-1.
66. von Lewinski G, Kohn D, Wirth CJ, Lazovic D.  
The influence of nonanatomical insertion and incongruence of meniscal transplants on the articular cartilage in an ovine model.  
*Am J Sports Med*. 2008 May;36(5):841-50.

67. von Lewinski G, Milachowski KA, Weismeier K, Kohn D, Wirth CJ.  
Twenty-year results of combined meniscal allograft transplantation, anterior cruciate ligament reconstruction and advancement of the medial collateral ligament.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:1072-1082.
68. Wilcox TR, Goble EM, Doucette SA.  
Goble technique of meniscus transplantation.  
*Am J Knee Surg.* 1996 Winter;9(1):37-42.
69. Wilmes P, Pape D, Kohn D, Seil R.  
The reproducibility of radiographic measurement of lateral meniscus horn position.  
*Arthroscopy.* 2007;23:1079-1086.
70. Wilmes P, Anagnostakos K, Weth C, Kohn D, Seil R.  
The reproducibility of radiographic measurement of medial meniscus horn position.  
*Arthroscopy.* 2008 Jun;24(6):660-8.

## **9. Danksagung**

Die folgenden Personen haben wesentlichen Anteil am Entstehen dieser Arbeit. Ihnen allen gebührt mein herzlicher Dank!

In erster Linie gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. R. Seil für die Überlassung des interessanten Themas und die wertvollen Ratschläge, Herrn Dr. med. P. Wilmes für die konsequente und freundschaftliche Anleitung und Betreuung und Herrn Prof. Dr. med. D. Kohn für die Bereitstellung der strukturellen Rahmenbedingungen sowie für den kontinuierlichen Anreiz, durch die Doktorandenseminare die eigene Arbeit kritisch zu hinterfragen.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. med. K. W. Becker und den Mitarbeitern des anatomischen Institutes für die freundliche Unterstützung bei der Entnahme der Präparate und die kompetenten Ratschläge zu Fragen der Fixierung bedanken. Außerdem gilt mein Dank S. Nuengsri für die unschätzbare Hilfe bei den Entnahmearbeiten, C. Dodler für die große Unterstützung bei den Bohrungen und S. und J. Weth für ihre Hilfe.

Ganz herzlichen Dank auch an meine Eltern, die mir das Studium erst ermöglichten und mir jeden Tag und an ungezählten Abenden mit freundschaftlichem Rat und Trost zur Seite standen.

Und schließlich gebührt ein großer Dank auch derjenigen, die in jeder Phase dieser Arbeit und noch weit darüber hinaus Freud und Leid mit mir geteilt hat und mir so stets die größte Stütze war – meiner Frau Jennifer. Danke.

## **10. Lebenslauf**

### **Persönliche Daten**

Name: Christian Josef Weth  
Geburtsdatum/ -ort: 22.08.1980 in St. Wendel  
Familienstand: verheiratet, ein Kind

### **Schulischer Werdegang**

1987-1991 Richeza-Grundschule, Puhlheim/ Brauweiler  
1991-1996 Abtei-Gymnasium, Puhlheim/ Brauweiler  
1996-2000 Robert-Schuman-Gymnasium, Saarlouis  
06/2000 Abitur am Robert-Schuman-Gymnasium, Saarlouis

### **Berufsausbildung und -ausübung**

10/2000 – 09/2003 Ausbildung zum Krankenpfleger an der St. Elisabeth-Klinik, Saarlouis.  
09/2003 Krankenpflegeexamen.  
01/2005 – 08/2008 Wochenenddienste als Krankenpfleger bei der Caritas-Sozialstation Wadgassen-Überherrn.

**Universitärer Werdegang**

- WS 2003/2004 Beginn des Studiums der Medizin an der Universität des Saarlandes, Homburg/ Saar
- Frühjahr 2005 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
- Famulaturen etc.:  
Frühjahr 2006 Famulatur an der Lutrina Klinik, Kaiserslautern, Schwerpunktlinik für Knie-Chirurgie, Sportmedizin, Allgemein- und Unfallchirurgie.
- Juli 2006 „Südwestdeutsches Symposium für Sportmedizin 2006“, Fortbildungsveranstaltung des dt. Sportärztesbundes.
- Oktober 2006 Fortbildungsveranstaltung des dt. Sportärztesbundes zum Thema „Fechtspezifische Gesundheitsprobleme“.
- Frühjahr 2007 Famulatur an der Klinik für Orthopädie, Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg.
- September 2007 Famulatur an der Klinik für Neurologie, Klinikum Saarbrücken.
- März 2008 Allgemeinmedizinischen Praxis Dr. H. Schlichter, Saarlouis/ Fraulautern.

praktisches Jahr: 25/08/08 – 14/12/08 in der Klinik für Viszeral-/Thorax und Gefäßchirurgie, Kinderchirurgie (Prof. Dr. J. Limmer) und in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie (Prof. Dr. U. Harland), Klinikum Saarbrücken.

15/12/08 – 05/04/09 in der Klinik für Gastroenterologie, Hepatologie, Diabetologie, Endokrinologie, Infektiologie und Psychosomatik (Prof. Dr. D. Grandt) und in der Klinik für Kardiologie, Pneumologie, Intensivmedizin und Angiologie (Prof. Dr. G. Görge), Klinikum Saarbrücken.

seit 06/04/09 in der Klinik für Neurologie (Prof. Dr. K.-H. Grottemeyer), Klinikum Saarbrücken.

Veröffentlichungen: Wilmes P, Anagnostakos K, Weth C, Kohn D, Seil R. The reproducibility of radiographic measurement of medial meniscus horn position. *Arthroscopy*. 2008 Jun;24(6):660-8.

Vorträge Koautor: Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R  
Radiographic guided drilling of bony tibial tunnels for anchoring of meniscus transplants using percentage references.  
YSOS Meeting, Gent, Octobre 3<sup>rd</sup> 2008.

Poster:

Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R.

Die röntgenologische Bestimmung der Insertionsareale der Menisken am Tibiakopf - eine in-vitro Untersuchung.

25. AGA-Kongress, Interlaken, 25.-27. September 2008.

Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R.

Bildwandlergesteuerte Bohrung tibialer Tunnel zur Fixierung von Meniskustransplantaten unter Verwendung prozentualer Referenzwerte.

25. AGA-Kongress, Interlaken, 25.-27. September 2008.

Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R.

Guidage radiographique du forage de tunnels tibiaux dans les transplantations méniscales.

Congrès annuel de la SFA, Paris, 11-13 décembre 2008.

Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R.

Reproducibility of radiographic measurement of tibial meniscus insertion areas.

7<sup>th</sup> Biennial ISAKOS Congress 2009, Osaka, April 5<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> 2009.

Wilmes P, Lorbach O, Weth C, Kohn D, Seil R.

Radiographic guided drilling of bony tibial tunnels for anchoring of meniscus transplants using percentage references.

7<sup>th</sup> Biennial ISAKOS Congress 2009, Oaska, April 5<sup>th</sup>-9<sup>th</sup> 2009.