

Aus der Orthopädischen
Universitäts- und Poliklinik
Hamburg
Ärztlicher Direktor:
Prof. Dr. med. W. Rüter

**Experimentelle Untersuchungen zur
Entfernung zementierter Femurkomponenten
von Hüfttotalendoprothesen -
Die Kraftentwicklung bei bekannten maschinellen und
manuellen Extraktoren im Vergleich zu einem
selbstentwickelten, druckluftbetriebenen
Extraktor-Prototyp**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin in
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von
Martin Müller
aus Glückstadt

Hamburg 1996

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: *22. Juni 1999*

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Sprecher: *Prof. Dr. H.-P. Lichtwitz*
Referent: *Prof. Dr. G. Mejas*
Korreferent: *Prof. Dr. W. Rütters*

1. Einleitung	1
1.1. Problematik der Hüft- TEP Wechsel Operation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3 Biomechanische und Physikalische Grundlagen	3

2. Material und Methode	6
2.1. Maschinenbeschreibung	6
<u>2.1.1. Eigener Prothesen-Extraktor Prototyp</u>	6
<u>2.1.2. Schenker Raspelmaschine</u>	6
<u>2.1.3. Allopro Raspelmaschine</u>	7
<u>2.1.4. Hilti Meißelhammer</u>	7
<u>2.1.5. Handausschläger Link</u>	7
2.2. Meßgeräte	11
<u>2.2.1. Dehnmeßstreifen</u>	11
<u>2.2.2. Meßverstärker</u>	11
<u>2.2.3. Oszilloskop</u>	12
2.3. Pilotversuche	13
<u>2.3.1. Aufbau der Pilotversuche</u>	13
<u>2.3.2. Ablauf und Ergebnisse der Pilotversuche</u>	14
2.4. Versuche zur Kraftmessung	18
<u>2.4.1. Aufbau der Versuche zur Kraftmessung</u>	18
<u>2.4.2. Einzelversuchsbeschreibungen zur Kraftmessung</u>	21

	Seite
3. Ergebnisse	25
3.1. Zusammenfassung der Ergebnisse der Pilotversuche	25
3.2. Ergebnisse der Kraftmessungen	26
<u>3.2.1. Einzelergebnisse der Kraftmessungen</u>	26
<u>3.2.2. Zusammenfassung der Ergebnisse der Kraftmessungen</u>	39
4. Diskussion	40
4.1. Erörterung von üblichen Extraktionsmethoden	40
4.2. Wertung der Untersuchungsergebnisse	43
5. Zusammenfassung	45
6. Literaturverzeichnis	47

Lebenslauf
Danksagung

1. Einleitung

1.1. Problematik des Wechsels von Hüftendoprothesen

Bisherige Totalendoprothesen (TEP) der Hüfte haben nur eine begrenzte Funktionsdauer. Sie liegt günstigstenfalls zwischen zehn und zwanzig Jahren, selten darüber. Da sich das durchschnittliche Lebensalter in Deutschland (1994) z.B. auf 79,3 J bei Frauen und 72,7 J bei Männern erhöht hat, ist bei einem Großteil der Patienten, die zwischen 60 und 65 Jahren eine Prothese erhalten, mit einem Wechsel zu rechnen .

Ausgehend von der Tatsache, daß die Zahl der Endoprothesen-implantationen seit Anfang der 80er Jahre stetig zugenommen hat (heute jährlich über 40 000 in Deutschland), steigt auch die Zahl der Wechsel-operationen stetig an (26,37), insbesondere bei den frühen Modellen (51).

Folgende Gründe sind für einen Wechsel der Hüftendoprothese zu nennen:

1. Aseptische (Teil-) Lockerung einer oder beider Komponenten.
2. Septische (Teil-) Lockerung einer oder beider Komponenten.
3. Verschleiß der artikulierenden Komponenten (25).
4. Ermüdungs- oder Überlastungsbrüche der Komponenten (9)
5. Frakturen im Prothesenlager oder in der Nachbarschaft

Nicht selten treten große Schwierigkeiten bei dem Entfernen der Femurkomponenten auf, wenn diese vorher nicht gelockert bzw. nur teilgelockert sind (64).

Bei zementierten Endoprothesen ist oft ein erheblicher Kraftaufwand von Seiten des Operateurs notwendig, um mit einem einfachen Handausschläger den femuralen Hüftprothesenteil zu entfernen. Bei geringem Kraftaufwand läßt sich die Prothese in der Regel nicht entfernen, bei großem Kraftaufwand läuft der Operateur Gefahr, Teile des proximalen Femurknochens unkontrolliert abzusprengen oder gar eine Femurschaftfraktur zu erzeugen.

Läßt sich die Prothese mit dem Handausschläger überhaupt nicht lösen, wird ein vorsichtiges Herausmeißeln der proximalen Zementanteile versucht, was nicht selten zu einer Schädigung des noch vorhandenen knöchernen Lagers führt. Zur weitaus schwierigeren Entfernung von distalen Zement-, und/oder Prothesenteilen wurden unterschiedlichste Verfahren unter Benutzung von Extraktoren, Spezialmeißeln (11), Hochgeschwindigkeits-Karbid-Bohrern und Ultraschallsonden angewandt. Eigentlich gelingt es selten, die Prothese mitsamt dem ihr anhaftenden Zement zunächst zu lockern und dann sukzessiv, wohl dosiert und komplett aus dem Oberschenkelschaft zu ziehen.

Der Grundgedanke dieser Arbeit war deshalb, die Entfernung von Femurkomponenten von Hüftendoprothesen mit Hilfe eines maschinellen Extraktors zu erleichtern.

1.2. Zielsetzung

Folgende Ziele wurden gesetzt:

1. Die Herstellung eines eigenen Prototyps eines druckluftgetriebenen Ausschlägers, welcher mit einer hohen Frequenz und Schlagkraft arbeitet.
2. Durchführung von Versuchen mit dem Prototyp zur Sicherung der Funktionsweise und anschließende Vergleiche mit anderen Maschinen bei der Extraktion frisch in Leichenfemura implantierter Prothesen.
3. Vergleichende Kraftmessungen der Maschinen mit Hilfe von Dehnmeßstreifen und den zugehörigen Meßinstrumenten.

Das Konzept war, durch eine hohe gleichbleibende Schlagfrequenz und Schlagkraft eine Lockerung in der Grenzschicht zwischen Zement und Knochen zu erreichen, ohne eine mehr als unbedingt notwendige Knochenzerstörung herbeizuführen, um dann die Prothese möglichst mit Zementköcher zu entfernen. Weiterhin würde durch die Motorisierung eines Ausschlägers gleichzeitig ein universelles Raspelaggregat geschaffen, welches dem Operateur physische Anspannung und Zeit ersparen würde.

1.3. Biomechanische und physikalische Grundlagen.

Femurbeschaffenheit.

Die Morphologie des Femurs intramedullär läßt sich anhand des „canal flare index“ (CFI = Verhältnis des intramedulären Isthmus Durchmessers zum Durchmesser 20 mm oberhalb des Trochanter minor) in drei Haupttypen unterteilen. Diese Typen werden dem Schnittbild, bzw. dem a.p. Röntgenaspekt entsprechend anschaulich als „Normal“- , „Ofenrohr“- und „Champagnerflöten“-Typ bezeichnet. Gemein haben alle Variationen eine mehr oder minder ausgeprägte, äußere wie intramedulläre Antekurvatur (54).

Mechanische Kopplung.

Die mechanische Koppelung zwischen Implantat und Knochen läßt bei zementierten wie nicht zementierten Prothesen nach wie vor zu wünschen übrig (15).

Die axiale Belastbarkeit einer zementlos eingebrachten Femurkomponente ist in Bezug auf Mikrobewegungen exzellent (67,68). Auch Untersuchungen von Burke et al. zeigten eine gute Stabilität bei axialer Belastung von sowohl zementierten, als auch nicht zementierten Schäften. Bei simuliertem Treppensteigen fand sich jedoch eine deutlich höhere Festigkeit der zementierten Prothesen gegenüber den nicht zementierten (7). Sugiyama stellte bei der Prüfung der Rotationsstabilität der Femurkomponenten von zementlos und zementiert eingebrachten TEP fest, daß die Rotationsstabilität bei allen eingesetzten Methoden stark zu wünschen übrig ließ. Die Rotationsinstabilität wurde zumindest bei den zementlos eingebrachten TEP als Hauptursache für eine Lockerung angesehen (60). Weiterhin ergaben sich erhebliche Unterschiede in den Biegemomenten der Femurkomponente der Prothese, wenn die Belastung auf den Kopf nicht axial, d. h. parallel zum medullären Kanal, sondern in unterschiedlichen Winkeln ausgeübt wurde (18). Verschiedenste Prothesenarten mit unterschiedlichen Oberflächen (24) und Formen (4) wurden entwickelt, um die mechanische Kopplung mit dem Knochen oder dem Knochenzement und der Prothese zu verbessern.

Lockerung.

Die Implantation der "low-friction" TEP nach Charnley führt nach einer 10-Jahres-Statistik des Bundesministeriums für Forschung und Technik aus dem Jahr 1980 in 19,6% zu einer revisionsbedürftigen aseptischen Lockerung nach durchschnittlich 4-7 Jahren (19). In Schweden mußten etwa ein Viertel aller „Christiansen-TEP“, welche in den 70er Jahren implantiert wurden, revidiert werden (1).

Aufgrund der zunehmenden Implantation von Totalendoprothesen der Hüfte in den letzten Jahren werden operative Revisionen immer häufiger (51). Ein besonderes Problem stellen dabei Knochenresorptionsprozesse im Acetabulum

und am Femur dar. Diese werden offenbar durch Abriebpartikel der Gelenkpartner getriggert, wobei Polyäthylenabrieb im Vordergrund steht.

Pazzaglia beschrieb in einer Studie eine makrophagen-induzierte Fremdkörperreaktion bei stabilen Knochen/Implantat-Verbindungen. Danach geht die Freisetzung von Fremdkörperpartikeln der mechanischen Instabilität voraus und dürfte die eigentliche Ursache für Implantatlockerungen darstellen (50). Eine Fremdkörperreaktion ist eine häufige Antwort auf freigesetzte Materialien von Implantaten und die Ursache für ein knochenresorbierendes Granulationsgewebe zwischen Implantat und Knochen (50).

Andere Gründe für eine Lockerung sind eine unzureichende Zementfüllung und bei der Revisions-Arthroplastik verbliebener Gewebedetritus nach Prothesenentfernung. Auch eine mangelnde Zement/Knochen-Verbindung bei glattem, sklerotischem Knochenbett soll eine vorzeitige Lockerung herbeiführen können (16). Decker kam zu dem Schluß, daß eine wesentliche Ursache für die Lockerung der Prothesenschaftkomponente in der unphysiologischen, distalen Krafteinleitung zu suchen ist, die zu einer Knochenatrophie des proximalen Femurendes führen kann (11).

Bei Austauschoperationen mit erneut zementierter TEP ist relativ rasch mit einer erneuten Lockerung zu rechnen (11).

Physikalische Grundlagen

Die für die Versuche relevanten Grundlagen über die Kraft, Arbeit, Energie und Impuls gehen aus den Newtonschen Gesetzen hervor (3,29,30).

2. Newtonsche Gesetz : $\mathbf{F} = \mathbf{m} \times \mathbf{a}$ (Einh.: $\text{N} = \text{m kg s}^{-2}$)

3. Newtonsche Gesetz : Actio = Reactio

Der Impuls ist ein Vektor und hat die gleiche Richtung wie die Geschwindigkeit.

Impuls: $\mathbf{p} = \mathbf{m} \times \mathbf{v}$ (m kg s^{-1})

Arbeit: $\mathbf{W} = \mathbf{F} \times \mathbf{s}$ (Nm)

Leistung: $\mathbf{P} = \mathbf{W} / \mathbf{t}$ (Nm / s)

a = Beschleunigung

F = Kraft

m = Masse

p = Impuls

P = Leistung

s = Weg

t = Zeit

v = Geschwindigkeit

W = Arbeit

2. Material und Methode

2.1. Maschinenbeschreibungen

2.1.1. Eigener Prothesen-Extraktor Prototyp

Bei dem eigens entwickelten Prototyp wurde als Schlagwerk ein druckluftbetriebener Meißelhammer der Fa. Schneider gewählt (5,42,53,57). An dem Meißelhammer wurde ein gleitend gelagertes Gestänge mit einer Anschlagplatte an der normalerweise meißelaufnehmenden Seite angebracht. Durch die Drehung des Aggregates um 180° ließ sich eine Zugkraft an der Stirnseite des Gerätes erzeugen. Der eigentliche Kraftstoß der Maschine wird so in einen entgegengesetzten Kraftstoß mit entgegengerichtetem Vektor umgewandelt.

An der Mitte der Maschine wurde eine aus Messing bestehende, ringförmige Halterung fest angebracht, so daß diese sich in senkrechter Stellung zur Bolzenbewegungsrichtung befand. Die Halterung trug gleichzeitig die Gleitlager für das Umlenkgestänge, welches somit parallel zur Bolzenbewegungsrichtung verlief und durch die symmetrische Anordnung eine seitengleiche Kraftumlenkung erlaubte. Als Gleitstangen wurden 10 mm durchmessende Stahlstangen gewählt. Die Anschlagplatte, wie auch die Platte für das Ausschlaginstrument bestand aus 10 mm starken Messingplatten von 25 x 70 mm mit zentralen Bohrungen für die Meißelaufnahme und das Ausschlaginstrument. An der kraftaufnehmenden Seite wurde ein gekürzter Meißel fest mit der Aufnahmeplatte verschraubt. An dem anderen Ende der Maschine ließen sich über ein 12 x 1 mm Maschinengewinde beliebige Ausschlagadapter anbringen.

Die Maschine arbeitet mit einem Druck von 5-7,5 bar und erzeugt hierunter eine Schlagfrequenz von 50 bis 55 Hz.

Nähere Einzelheiten gehen aus der Abbildung 1 hervor. Dieser eigene Prothesen-Extraktor Prototyp wird fortan TEP-Extraktor genannt.

2.1.2. Schenker-Raspelmaschine

Bei der Maschine der Fa. Schenker, Typ "AirHit 6", handelt es sich um eine druckluftbetriebene Raspelmaschine, welche zur maschinellen Aufraspelung des Femurs und zur anschließenden Aufnahme der von der Firma vertriebenen zementlosen Prothesen gedacht ist (55).

Die Maschine arbeitet bei einem Druck von 6 bar mit einer Frequenz von ca. 50 Hz (Abb. 2).

2.1.3. Allopro-Raspelmaschine

Bei der Allopro-Raspelmaschine handelt es sich um eine druckluftbetriebene Maschine, welche wie die Schenker-Raspelmaschine zur Vorbereitung des femoralen Knochenlagers für die TEP-Implantation gedacht ist.

Die Maschine arbeitet mit einem Druck von 6 bar, kann jedoch bis maximal 10 bar belastet werden.

Mit der Maschine lassen sich einzelne Schläge auslösen, die sowohl in Vorwärts-, als auch nach Umschaltung in Rückwärtsrichtung erfolgen können. Eine automatische, schlagwiederholende (repetitive) Aktion ist nicht möglich.

Die Maschine wiegt 5 kg und wurde in der Orthopädischen Klinik Wien erprobt (2) (Abb. 3).

2.1.4. Hilti TP 400

Bei dem Meißelhammer der Fa. Hilti, Typ TP 400, handelt es sich um einen strombetriebenen, elektropneumatischen Meißelhammer für das Baugewerbe, welcher z.B. für Mauerdurchbrüche geeignet ist.

Die Maschine arbeitet laut Firmenprospekt mit 220 V Wechselstrom und liefert bei einer max. Leistungsaufnahme von 1020 Watt eine Schlagzahl von 2400 Schl./min.. Die Maschine wiegt 6 kg und ist in der Lage, in 15 Min. einen 20 x 20 x 16 cm großen Durchbruch in leicht armiertem Beton herzustellen (27,28).

2.1.5. Gleithammer Link

Bei dem Gleithammer der Firma Link handelt es sich um ein Instrument, bei dem mit Hilfe eines auf einer Stange gleitenden Gewichtes ein Rückstoß ausgelöst werden kann. Das Gewicht wird vom Operateur manuell beschleunigt und prallt gegen einen am Ende befindlichen Handgriff.



Abb. 1 Eigener Prothesen-Extraktor Prototyp (TEP-Extraktor)



Abb. 2 Schenker-Raspelmaschine Typ AirHit 6



Abb. 3 Alpro-Raspelmaschine

2.2. Meßgeräte

2.2.1. Dehnmeßstreifen

Ein Dehnmeßstreifen oder Dehnungsmeßstreifen (DMS) ist dazu bestimmt, Dehnungen zu messen. Aus dem Meßwert lassen sich Aussagen über die Werkstoffbeanspruchung des Meßobjekts machen, sowie über die Art und den Betrag von Kräfteinwirkungen auf das Meßobjekt (33). Aufgrund ihrer hohen Meßempfindlichkeit haben sich DMS bei vielen medizinisch-technischen Fragestellungen bewährt (6,10,46).

Der DMS besteht aus einem metallischen Leiter, dessen Widerstand sich in Abhängigkeit von der aufgenommenen Dehnung ändert. Bezieht man diesen DMS in eine elektrische Schaltung ein, so wird die auftretende Dehnungsänderung in Form einer elektrischen Signaländerung meßbar (41). DMS sind nahezu masselos und erzeugen kaum Rückwirkungen auf das Meßobjekt. Sie sind u.a. geeignet für Messungen bei zeitlich veränderlichen Vorgängen mit hohen Frequenzen. Die sehr kleinen Dehnungsänderungen ergeben ebenfalls nur geringe Widerstandsänderungen, welche vorzugsweise mit Hilfe der Wheatonschen Brückenschaltung in eine meßbare Spannungsänderung umgewandelt wird (38).

Ein DMS kann seine Aufgabe aber erst dann erfüllen, wenn die zu messende Dehnung einwandfrei und verlustfrei auf ihn übertragen wird. Dazu bedarf es einer innigen Verbindung zwischen DMS und Meßobjekt. Die geforderte, innige, flächenhafte Verbindung zwischen Meßobjekt und DMS wird durch eine Klebung erfüllt. Die Qualität und die Eigenschaften eines DMS sind erst nach der Applikation erkenn- und meßbar. Demnach hat auch die Qualität der Applikation einen nachhaltigen Einfluß auf die Meßgenauigkeit (33).

2.2.2. Meßverstärker DMZ 11

Bei dem verwendeten Meßgerät der Fa. Hottinger, Baldwin Meßtechnik Typ DMZ 11, handelt es sich um einen Gleichspannungsmeßverstärker, welcher sich zum Anschluß von DMS-Vollbrückenaufnehmern eignet. Mit dem Gerät lassen sich statische Größen, wie auch dynamische Größen bis 1000 Hz messen (35).

Das Gerät verfügt über ein internes Nullsignal sowie einen Spitzenwertspeicher. Die Ausgangsspannung oder der Spitzenwert ist über eine LCD-Anzeige ablesbar und wird gleichzeitig an eine koaxiale Ausgangsbuchse weitergeleitet.

2.2.3. Oszilloskop

Bei dem verwendeten Oszilloskop der Fa. Tektronix Meßtechnik, Serie 5100, handelt es sich um ein Gerät mit einem 5A18N „Dual-trace“- Verstärker. Hiermit sind Messungen und Speicherungen auf zwei Kanälen gleichzeitig möglich (62).

2.3. Pilotversuche

2.3.1. Aufbau der Pilotversuche

Zur allgemeinen Prüfung und Eignung der unter 2.1. aufgeführten Geräte wurden einige Pilotversuche vor den eigentlichen Kraftmessungen durchgeführt.

Es wurden 8 Pilotversuche durchgeführt. Hierbei wurden Prothesen in Leichenfemura mit Zement implantiert und versucht, diese mit dem selbstentwickelten Prothesenextraktor und im Vergleich mit einem Handausschlaggerät oder der Raspelmaschine der Fa. Allopro wieder zu entfernen. Der Vorgang und die Dauer der Extraktion sowie die Handhabung der Geräte wurden notiert.

Die Versuche wurden paarweise durchgeführt, jeweils an einem in Formalin eingelegten und einem frischen Leichenfemur, weil sich zeigte daß die zur Verfügung gestellten Leichenfemura in Formalin eine mindere Stabilität hatten. Es wurden drei in Formalin eingelegte Femura weiblich, 70 J; und männlich, 49 und 45 J verwandt. Als frische Leichenfemura wurde ein Femur männlich, 45 J, 2 Tage und männlich 39 J, 3 Tage gelagert, sowie ein Femur männlich, 35 J und weiblich 72 J, je 3 Monate kühlhausgelagert verwandt.

Um eine in vivo auftretende Bindegewebsschicht (48,56) zu simulieren wurden die Versuche nach Einzementierung mit einer Filzschicht von 1,5 mm und 3 mm Stärke, bzw. ohne Filzschicht paarweise durchgeführt.

Der Versuchsgrundaufbau war für alle Versuche gleich. Die Rahmenbedingungen wie Werkbank, Haltezwinge und Extraktionszeitpunkt nach Implantation wurden konstant gehalten. Je nach Versuch wurden die unterschiedlichen Filzschichten in den ausgeraspelten Femur eingebracht und anschließend die Prothese in typischer Weise implantiert. Nach vollständigem Aushärten des Zementes wurde der Knochen mit einer Haltezwinge auf der Werkbank festgehalten. Die mit einem Loch versehene Prothese wurde mit einem Gabelstück und einem als Splint fungierenden 6 mm Bolzen über eine 300 mm Verbindungsstange mit der jeweiligen Extraktionsmaschine verbunden.

Für alle Versuche wurde der Schaft einer Totalendoprothese der Fa. Zimmer verwandt, welcher im lateralen Kragenbereich eine 8 mm Bohrung zur Extraktion besaß. Alle Geräte wurden über eine Druckluftflasche mit Druckminderer betrieben.

2.3.2. Ablauf und Ergebnisse der Pilotversuche

Pilotversuche 1 und 2

Bei den Versuchen 1 und 2 wurden jeweils ein frischer und ein in Formalin eingelegerter Leichenfemur verwandt, um einen direkten Vergleich der unterschiedlichen Festigkeit der Femura zu ermöglichen. Die Prothesenschäfte wurden implantiert ohne Verwendung einer Verschiebeschicht (Filz).

Pilotversuch 1

Extraktion eines mit Zement implantierten Prothesenschaftes in einem in Formalin gelagerten Femur (männl., links, 49 J), ohne Filzinlay mittels TEP-Extraktor und nachfolgend Link-Ausschläger.

Durchführung: Das Femur wurde mit einer Schraubzwinde fixiert und die Maschine mit einem Betriebsdruck von 7 bar in Gang gesetzt. Eine Lösung der Prothese erfolgte nicht. Es kam vielmehr zu einer Auslockerung aus der Schraubzwinde. Der anschließende Versuch, unter gleichen Bedingungen die Prothese mit dem Handausschlaggerät der Fa. Link zu entfernen, scheiterte ebenfalls. Daraufhin wurde das Femur fest in eine Hobelbank eingespannt und noch einmal der TEP-Extraktor angesetzt, diesmal mit 8 bar Betriebsdruck über 3 min. Auch jetzt ließ sich keine Lockerung erreichen. Nun wurde versucht, die Prothese mit maximaler, beidhändiger Kraftaufwendung mit dem Handausschläger zu entfernen. Dies führte zu einer spiralförmigen, kompletten Femurfraktur unterhalb der Prothesenspitze. Die Prothese konnte anschließend nur durch Längsspaltung des proximalen Femur mit einem Meißel entfernt werden.

Ergebnis: Die einzementierte Prothese ließ sich weder unter Verwendung des **TEP-Extraktors** noch unter Verwendung des Handausschlägers entfernen.

Pilotversuch 2

Extraktion eines mit Zement ohne Verschiebeschicht in einen frischen Femur (männl., rechts, 45 J, 2 Tage alt) implantierten Prothesenschaftes mittels TEP-Extraktor und Allopro-Raspelmaschine.

Durchführung: Der TEP-Extraktor wurde angesetzt und mit einem Druck von 6 bar wurde die Prothese für 3 x 60 sec. der Schlagkraft der Maschine ausgesetzt. Es kam zu keiner Lockerung der Prothese.

Anschließend wurde bei einem Druck von 8 bar die Allopro-Raspelmaschine in Gang gesetzt. Es wurden 2 x 30 Einzelschläge ausgeübt. Auch hierunter kam es zu keiner sichtbaren Lockerung der Prothese.

Ergebnis: Die in einem frischen Femur ohne Verschiebeschicht einzementierte Prothese ließ sich weder unter Verwendung der Allopro-Raspelmaschine noch

des TEP-Extraktors entfernen. Die Prothese konnte sodann nur durch Längsspaltung des proximalen Femurs mit einem Meißel entfernt werden.

Pilotversuche 3 und 4

Hierbei wurde der TEP-Extraktor im direkten Vergleich mit dem Link Handausschläger unter Verwendung jeweils eines 1,5 mm starken Filzinlays getestet.

Pilotversuch 3

Extraktion eines mit Zement in einen frischen Femur (männl, links, 35 J, 3 Monate Tiefkühlung) mit 1,5 mm Filzinlay implantierten Prothesenschaftes mittels TEP-Extraktor und Allopro-Raspelmaschine.

Durchführung: Der TEP-Extraktor wurde mit einem Druck von 6 bar eingesetzt. Nach 30 sec. kam es zu einer Lockerung der Prothese, so daß diese 5 mm aus dem Femurschaft hervorsprang. Dabei wurde ein keilförmiges 2 cm langes Knochenfragment an der medialen Seite ausgesprengt, ohne daß es zu einer weiteren Frakturbildung kam. Nachfolgend gelang es jedoch nicht, die Prothese weiter zu entfernen. Es wurde daraufhin beschlossen, die Allopro-Raspelmaschine anzusetzen. Bei einem Druck von 8 bar konnte dann mit 18 Schlägen die Prothese vollständig entfernt werden.

Ergebnis: Die mit einer simulierten Verschiebeschicht in einen frischen Femur einzementierte Prothese ließ sich unter Verwendung des TEP-Extraktors lösen, jedoch nicht vollständig entfernen. Nach einem Wechsel auf die Allopro-Raspelmaschine wurde die Prothese dann vollständig entfernt.

Pilotversuch 4

Extraktion eines mit Zement und 1,5 mm Filzinlay implantierten Prothesenschaftes in einem in Formalin eingelegten Femur (männl., rechts, 49 J) mittels Link-Ausschläger.

Durchführung: Der Ausschläger wurde kraftvoll betätigt und spaltete den Femurschaft nach wenigen Schlägen auf einer Länge von 3 cm medial, proximal. Nach etwa 20 Schlägen lockerte sich die Prothese komplett mit Zement und ließ sich sukzessiv entfernen, jedoch unter erhöhtem Kraftaufwand im Vergleich zu Versuch 6.

Ergebnis: Die mit simulierter Verschiebeschicht in einen in Formalin gelagerten Femur implantierte Prothese konnte unter starker Kraftaufwendung komplett mit Zement entfernt werden, wobei es jedoch zu einer Femurfissur kam.

Pilotversuche 5 und 6

In diesen Versuchen wurden der TEP-Extraktor nochmals im direkten Vergleich mit dem Link Handausschläger unter Verwendung eines 3 mm starken Filzinlays erprobt.

Pilotversuch 5

Extraktion eines mit Zement und 3 mm Filzinlay implantierten Prothesenschaftes in einem in Formalin eingelegten Femur (weibl., links, 70 J) mittels TEP-Extraktor.

Durchführung: Die Maschine wurde mit einem Druck von 5 bar eingesetzt. Es kam zu einem sofortigen Lösen der Prothese, welche unter weiterer Maschinenkraft und unter leichtem Zug sich nachfolgend vollständig, kontinuierlich aus dem Femur entfernen ließ. Die Dauer des gesamten Vorganges betrug 30 sec.

Ergebnis: Die unter Verwendung einer 3 mm Filzlage als Verschiebeschicht einzementierte Prothese ließ sich innerhalb von 30 sec. mühelos entfernen. Die entfernte Prothese war vollständig (bis auf einen kleinen Bezirk an den unteren 2 cm der Prothese) mit Zement umhüllt. Der Zement war fest mit der Prothese verbunden und wurde in toto entfernt.

Pilotversuch 6

Extraktion eines mit Zement und Filzinlay in einen frischen Femur (weibl., rechts, 72 J, 4 Tage alt) implantierten Prothesenschaftes mittels Link-Ausschläger

Durchführung: Der Ausschläger wurde in üblicher Weise betätigt, wobei die Kraft allmählich gesteigert wurde, da sich bei den ersten Schlägen keine Reaktion zeigte. Nach etwa 20 Schlägen löste sich die Prothese komplett mit Zement und sprang 3 mm heraus. Hierbei wurde ein 5 x 8 mm großes Fragment aus dem Femur mediallyseitig ausgesprengt. Ausgehend von diesem Defekt zeigte sich eine ca. 8 cm lange nach distal verlaufende Fissur des Femurs. Da sich die Prothese gelöst hatte und zweifelsohne mit dem Ausschlaggerät der Fa. Link ganz zu entfernen gewesen wäre, wurde der TEP-Extraktor nochmals angesetzt, um das weitere Entfernen der Prothese unter maschinellen Bedingungen zu begutachten. Die Prothese bewegte sich sofort und wurde gleichmäßig aus dem Femur gezogen. Dies ging relativ sanft und schonend vonstatten. Es brachen keine weiteren Stücke vom Knochen ab. Die Prothese war komplett vom Zement umhüllt.

Ergebnis: Die Entfernung der unter Verwendung eines 3 mm Filzinlays einzementierten Prothese führte bei der initialen Lösung durch den Link-Ausschläger zu einer Fraktur des frischen Femurs.

Pilotversuche 7 und 8

Hierbei wurde der TEP-Extraktor in direktem Vergleich zur Raspelmaschine der Fa. Allopro eingesetzt bei Prothesenimplantaten unter Verwendung eines 3 mm Filzinlays.

Pilotversuch 7

Extraktion eines mit Zement und 3 mm Filzinlay in einen frischen Femur (männl., rechts, 39 J, 3 Tage alt) implantierten Prothesenschaftes mittels TEP-Extraktor.

Durchführung: Die Maschine wurde mit einem Druck von 6 bar in Gang gesetzt. Hierunter kam es zu einem Lösen der Prothese nach 30 sec. Unter weiterer Betätigung der Maschine und unter leichtem Zug ließ sich die Prothese innerhalb von weiteren 5 sec. vollständig aus dem Femur entfernen.

Ergebnis: Die mit einer 3 mm Verschiebeschicht einzementierte Prothese ließ sich innerhalb von 30 sec. mit dem TEP-Extraktor aus dem frischen Femur vollständig entfernen.

Pilotversuch 8

Extraktion eines mit Zement und 3 mm Filzinlay in einem in Formalin eingelegten Femur (männl., rechts, 45 J) implantierten Prothesenschaftes mittels Allopro-Raspelmaschine.

Durchführung: Die Raspelmaschine kam mit einem Druck von 6 bar zum Einsatz. Nach 5 Einzelschlägen kam es zu einem Lösen der Prothese. Unter weiteren Einzelschlägen und unter leichtem Zug ließ sich die Prothese vollständig aus dem Femur entfernen. Insgesamt waren hierfür 30 Schläge notwendig.

Ergebnis: Die mit einer 3 mm Verschiebeschicht einzementierte Prothese ließ mit 30 Schlägen der Allopro-Raspelmaschine vollständig aus dem in Formalin eingelegten Femur entfernen.

2.4. Versuche zur Kraftmessung

2.4.1. Aufbau der Versuche zur Kraftmessung

Bei den Versuchen der Kraft- und Frequenzmessung der einzelnen Geräte in der zweiten Versuchsserie (2.4.) dienten Dehnmeßstreifen als Meß-aufnehmer. Die Dehnmeßstreifen wurden auf Stahlstangen appliziert. Die jeweilige Maschine wurde über die Meßstangen an einem Stahlträger als unbewegliche Masse fest verankert. Gemessen wurde mit Hilfe des Meßverstärkers (2.2.2.) und eines Oszilloskops (2.2.3.) die Kraft, welche durch die Maschine aufgebracht wurde unter gleichzeitiger Frequenz-messung.

Einzelne Versuche wurden zusätzlich unter variablem Druck und unter unterschiedlicher Vorspannung durchgeführt.

Zur Kraft- und Frequenzmessung wurde bei allen Versuchen der gleiche Versuchsaufbau beibehalten. Als einzige Ausnahme wurden die beiden Verbindungsstangen mit den applizierten Dehnmeßstreifen gewechselt, entsprechend den zugehörigen Maschinenanschlüssen.

Die äußeren Rahmenbedingungen, wie Befestigung, Raum und Temperatur wurden konstant gehalten.

Bei der Kraft- und Frequenzmessung der einzelnen Geräte dienten Dehnmeßstreifen als Meßaufnehmer (2.2.). Die Meßstreifen wurden auf zwei 12 mm durchmessende 2VA Stahlstangen von 40 cm und 15 cm Länge appliziert. Anschließend wurden die Stahlstangen mit Dehnmeßstreifen mit 1000 kg Gewicht belastet und geeicht sowie ein Meßwiderstand zur Kalibrierung des Meßgerätes angefertigt. Die Applikation sowie die Eichung des Systems wurden dankenswerter Weise von der Fa. Hottinger, Baldwin Meßtechnik fachgerecht durchgeführt.

Beide Stangen verfügten über ein 12 x 1 Gewinde an einem Ende, mit dem sie an dem Aufnehmer des Stahlträgers festgeschraubt wurden. Am anderen Ende befand sich bei der 40 cm langen Stange ebenfalls ein 12 x 1 mm Gewinde. Die kürzere Stange besaß einen Bajonettverschluß zur Aufnahme der Allopro-Raspelmaschine. Als Befestigung und anzunehmende, unbewegliche Masse wurde ein senkrecht verlaufender, in halbsteinscher Mauer eingemauerter I-Träger (200 x 200 mm) verwendet. An diesen wurde als Anschluß ein 40 x 15 x 100 mm Stahlblock mit zentralem 12 x 1 mm Gewinde vollflächig angeschweißt. An dem jeweils freien Ende der Meßaufnehmer wurden nacheinander die einzelnen Maschinen befestigt. Das andere Ende der jeweiligen Maschine wurde zusätzlich über ein 4 mm Stahlseil, einen Seilspanner und eine Federwaage in axialer Richtung an einer gegenüberliegenden Wand befestigt. Über den

Seilspanner ließ sich hiermit unter Zuhilfenahme der Federwaage die nötige Vorspannung einstellen (Abb. 4).

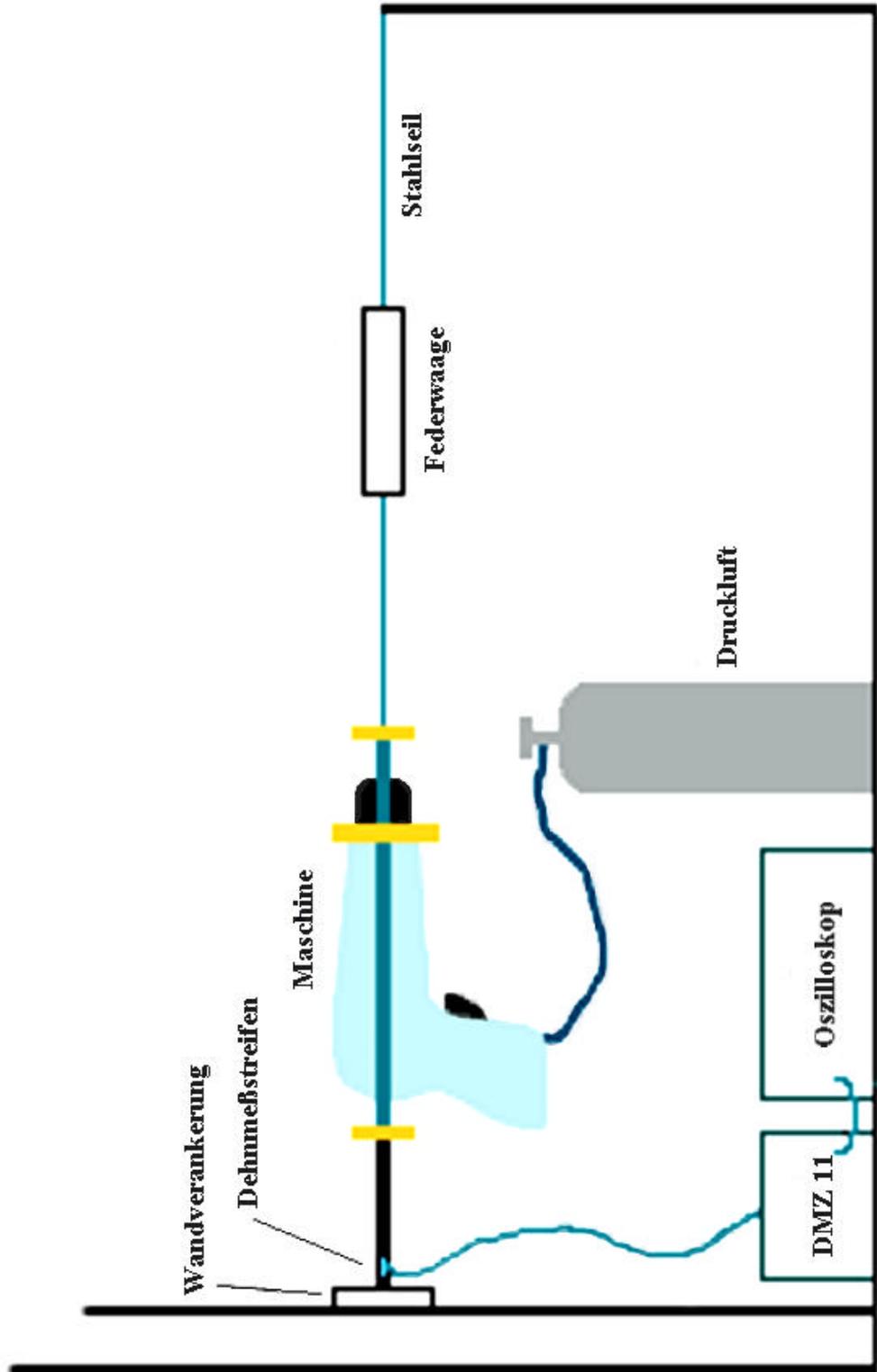


Abb. 4: Versuchsaufbau

2.4.2. Einzelversuchsbeschreibungen zur Kraftmessung

1. Versuch:

Beschreibung: Kraft und Frequenzmessung des TEP-Extraktors mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Anordnung: TEP-Extraktor, Meßaufnehmerstange 40 cm mit DMS, Stahlseil 4 mm, Druckluftflasche, Druckminderer (Dräger), Seilspanner, Federwaage (bis 25 kg, +/- 1 kg), Wandbefestigung (Stahlträger), Gleich-spannungsmeßgerät DMZ 11, Oszilloskop, Anschlußkabel und -schläuche.

Versuchsaufbau: Die 40 cm Meßaufnehmerstange wurde an dem zentralen Gewinde des Stahlblocks, welcher sich an dem I-Träger befand, fest-geschraubt. Hieran wurde der TEP-Extraktor geschraubt. An die Anschlagplatte der Maschine wiederum wurde ein Stahlseil über eine Federwaage und einen Seilspanner in axialer Richtung befestigt. Das Stahlseil wurde an der gegenüberliegenden Wand angebracht. An den DMS wurde das Meßgerät DMZ 11 angeschlossen und über dessen Ausgangsbuchse über eine Koaxialleitung das Oszilloskop. Die Maschine wurde mit Hilfe eines Schlauches an der Druckluftflasche angeschlossen.

Durchführung: Zunächst wurde der Nullpunkt des Meßgerätes eingestellt sowie die entsprechenden Meßbereiche, sowohl des Meßgerätes, als auch des Oszilloskops. Anschließend wurde mit Hilfe des Seilspanners eine Vorspannung von 10 N eingestellt, welche am Meßgerät abgelesen wurde. Nach Einstellung eines Betriebsdruckes von 5 bar wurde die Maschine für 15 s in Betrieb genommen und der Spitzenwert vom Meßgerät abgelesen und notiert. Die Frequenz wurde gleichzeitig am Oszilloskop abgelesen. Der Versuch wurde acht mal unter gleichen Bedingungen wiederholt. Anschließend wurde nochmals eine Versuchsreihe mit identischem Versuchsaufbau durchgeführt, jedoch mit einer Vorspannung von 15 N und einem Betriebsdruck von 7,5 bar.

2. Versuch:

Beschreibung: Kraft und Frequenzmessung der Schenker Raspelmaschine AirHit 6 mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Anordnung: Schenker Raspelmaschine AirHit 6, Meßaufnehmerstange 40 cm mit DMS, Stahlseil 4 mm, Druckluftflasche, Druckminderer (Dräger), Seilspanner, Federwaage (bis 25 kg, +/- 1 kg), Wandbefestigung (Stahl-träger), Gleichspannungsmeßgerät DMZ 11, Oszilloskop, Anschlußkabel und -schläuche, Stahlseil.

Versuchsaufbau: Die 40 cm Meßaufnehmerstange wurde an dem zentralen Gewinde des Stahlblocks, welcher sich an dem I-Träger befand, festgeschraubt. Hieran wurde die Schenker Raspel AirHit 6 geschraubt. An die Anschlagplatte der Maschine wiederum wurde ein Stahlseil über eine Federwaage und einen Seilspanner in axialer Richtung befestigt. Das Stahlseil wurde an der gegenüberliegenden Wand angebracht. An dem DMS wurde das Meßgerät DMZ 11 angeschlossen und über dessen Ausgangsbuchse über eine Koaxialleitung, das Oszilloskop. Die Maschine wurde mit Hilfe eines Schlauches an der Druckluftflasche angeschlossen.

Durchführung: Zunächst wurde der Nullpunkt des Meßgerätes eingestellt sowie die entsprechenden Meßbereiche, sowohl des Meßgerätes, als auch des Oszilloskops. Anschließend wurde mit Hilfe des Seilspanners eine Vorspannung von 10 N eingestellt, welche am Meßgerät abgelesen wurde. Nach Einstellung eines Betriebsdruckes von 6 bar (angegebener Betriebsdruck) wurde die Maschine für 15 s in Betrieb genommen und der Spitzenwert vom Meßgerät abgelesen und notiert. Die Frequenz wurde gleichzeitig am Oszilloskop abgelesen. Der Versuch wurde dreißig mal unter gleichen Bedingungen wiederholt.

3. Versuch:

Beschreibung: Kraft und Frequenzmessung der Allopro-Raspelmaschine mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Anordnung: Allopro-Raspelmaschine, Meßaufnehmerstange 15 cm mit DMS, Stahlseil 4 mm, Druckluftflasche, Druckminderer (Dräger), Seilspanner, Federwaage (bis 25 kg, +/- 1 kg), Wandbefestigung (Stahl-träger), Gleichspannungsmeßgerät DMZ 11, Oszilloskop, Anschlußkabel und -schläuche, Stahlseil.

Versuchsaufbau: Die 15 cm Meßaufnehmerstange wurde an dem zentralen Gewinde des Stahlblocks, welcher sich an dem I-Träger befand, festgeschraubt.

Hieran wurde die Allopro-Raspelmaschine geschraubt. An die Rückseite der Maschine wiederum wurde ein Stahlseil über eine Federwaage und einen Seilspanner in axialer Richtung befestigt. Das Stahlseil wurde an der gegenüberliegenden Wand angebracht. An dem DMS wurde das Meßgerät DMZ 11 angeschlossen und über dessen Ausgangsbuchse über eine Koaxialleitung das Oszilloskop. Die Maschine wurde mit Hilfe eines Schlauches an der Druckluftflasche angeschlossen.

Durchführung: Zunächst wurde der Nullpunkt des Meßgerätes eingestellt sowie die entsprechenden Meßbereiche, sowohl des Meßgerätes, als auch des Oszilloskops eingestellt. Anschließend wurde mit Hilfe des Seilspanners eine Vorspannung von 10 N eingestellt, welche am Meßgerät abgelesen wurde. Nach Einstellung eines Betriebsdruckes von 5 bar wurde die Maschine auf Rückwärtsschlag eingestellt und einzelne Schläge ausgelöst. Der Spitzenwert wurde vom Meßgerät abgelesen und notiert. Der Versuch wurde mehrfach wiederholt. Es wurden insgesamt je sechs Versuchsreihen mit identischem Versuchsaufbau durchgeführt, jedoch mit unterschiedlicher Vorspannung und verschiedenem Betriebsdruck. Die verschiedenen Vorspannungen und Drücke betragen: 10 N/5 bar; 10 N/6 bar; 10 N/8 bar; 15 N/8 bar; 19 N/8 bar; 15 N/10 bar.

4. Versuch:

Beschreibung: Kraft und Frequenzmessung des Hilti TP 400 Meißelhammers mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Anordnung: Hilti TP 400 Meißelhammer, Meßaufnehmerstange 40 cm mit DMS; Stahlseil 4 mm, Druckluftflasche, Druckminderer (Dräger), Seilspanner, Federwaage (bis 25 kg, +/- 1 kg), Wandbefestigung (Stahl-träger), Gleichspannungsmeßgerät DMZ 11, Oszilloskop, Anschlußkabel und -schläuche, Stahlseil.

Versuchsaufbau: Die 40 cm Meßaufnehmerstange wurde an dem zentralen Gewinde des Stahlblocks, welcher sich an dem I-Träger befand, festgeschraubt. Hieran wurde ein Stahlrahmen, ähnlich dem Führungsgestänge des TEP-Extraktors, festgeschraubt. Die Maschine wurde über ein abgesägtes Meißelende an der Anschlagplatte befestigt. An die Anschlagplatte der Maschine wiederum wurde ein Stahlseil über eine Federwaage und einen Seilspanner in axialer Richtung befestigt. Das Stahlseil wurde an der gegenüberliegenden Wand angebracht. An den DMS wurde das Meßgerät DMZ 11 angeschlossen und über dessen Ausgangsbuchse und eine Koaxialleitung das Oszilloskop. Die Maschine wurde an 220 V Wechselstrom angeschlossen.

Durchführung: Zunächst wurde der Nullpunkt des Meßgerätes eingestellt sowie die entsprechenden Meßbereiche, sowohl des Meßgerätes, als auch des Oszilloskops eingestellt. Anschließend wurde mit Hilfe des Seilspanners eine Vorspannung von 10 N eingestellt, welche am Meßgerät abgelesen wurde. Die Maschine wurde für 15 s in Betrieb genommen und der Spitzenwert vom Meßgerät abgelesen und notiert. Die Frequenz wurde gleichzeitig am Oszilloskop abgelesen. Der Versuch wurde dreißig mal unter gleichen Bedingungen wiederholt.

5. Versuch:

Beschreibung: Kraftmessung des Link Gleithammers mit Hilfe von DMS.

Anordnung: Link Gleithammer, Meßaufnehmerstange 40 cm mit DMS, Wandbefestigung (Stahlträger), Gleichspannungsmeßgerät DMZ 11, Anschlußkabel.

Versuchsaufbau: Die 40 cm Meßaufnehmerstange wurde an dem zentralen Gewinde des Stahlblocks, welcher sich an dem I-Träger befand, festgeschraubt. Hierauf wurde das Gewicht des Gleithammers aufgeschoben und der Handgriff als Abschlußanprallfläche aufgeschraubt. Die Wegstrecke des Gleitgewichtes betrug maximal 32,5 cm bedingt durch den angebrachten DMS. An den DMS wurde das Meßgerät DMZ 11 angeschlossen. Testperson: 30 J, m., Rechtshänder.

Durchführung: Zunächst wurde der Nullpunkt des Meßgerätes sowie die entsprechenden Meßbereiche eingestellt und einzelne Schläge ausgelöst. Der Spitzenwert wurde vom Meßgerät abgelesen und notiert. Der Versuch wurde mehrfach wiederholt. Es wurden insgesamt je 5 Versuchsreihen mit identischem Versuchsaufbau durchgeführt, jedoch mit unterschiedlicher Stellung der Person zum Gerät und mit unterschiedlicher Handhaltung und unterschiedlicher Technik.

Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, einmal links- und einmal rechtshändig, wobei die Testperson das Gleitgewicht fest bis zum Aufprall in der Hand behielt und mit Blick in Richtung Befestigung stand. Bei den nächsten zwei Versuchen wurde die Blickrichtung beibehalten, jedoch bei der Schlagtechnik versucht, dem Gewicht eine maximale Beschleunigung zukommen zu lassen und kurz vor Aufprall loszulassen, um den maximalen "Schwung" des Gewichtes auszunutzen. Zur Kontrolle wurde auch eine Versuchsreihe durchgeführt, bei der das Gewicht linkshändig gehalten wurde, die Testperson in Richtung Griff blickte und das Gewicht mit der zuerst genannten Technik aufprallen ließ.

3. Ergebnisse

3.1. Zusammenfassung der Ergebnisse der Pilotversuche

Die Versuche der ersten Versuchsserie dienten der Funktionsprüfung, Handhabung und Kontrolle der praktischen Tauglichkeit des TEP-Extraktor-Prototyps im Vergleich zu anderen Maschinen.

Keine Maschine war in der Lage, eine frisch einzementierte Prothese zu entfernen. Auch der manuelle Ausbau der Prothese gelang nur unter Längsspaltung des Femurs. Hierbei sollte jedoch bedacht werden, daß es unter diesen stabilen Verhältnissen auch in vivo selten einen Grund für einen Implantatwechsel gibt. Vielmehr liegt nach einiger Zeit eine Verschiebeschicht zwischen Implantat und Lager vor (50), weshalb bei den letzten Pilotversuchen mit simulierten Verschiebeschichten gearbeitet wurde.

Zweimalig kam es unter Verwendung des Gleithammers zu einer Knochenabspregung oder Fissur. Im klinischen Alltag und in der Literatur sind Frakturen bei TEP-Wechsel Operationen gut bekannt.

Zu einer angestrebten allmählichen Lockerung durch eine in der Grenzschicht induzierten Mikrobewegung kam es unter der Verwendung einer Schlagfrequenz von 50 Hz nicht. Vielmehr kam es zu einem plötzlichen Nachgeben und anschließender harmonischer Extraktion.

In einem Versuch ließ sich eine höhere Schlagkraft der Allopro-Maschine gegenüber dem TEP-Extraktor nachweisen: Es konnte eine Prothese entfernt werden, welche zuvor mit dem TEP-Extraktor nur gelockert wurde.

Die Handhabung aller Geräte war aus verschiedenen Gründen als schlecht zu bezeichnen. Bei dem selbstentwickelten TEP-Extraktor war wegen des außenliegenden, beweglichen Gestänges nur ein Festhalten von einer Seite möglich. Weiterhin erzeugte das Gerät einen hohen Geräuschpegel. Die Raspelmaschine der Fa. Allopro war unhandlich aufgrund des hohen Gewichtes und der Größe. Der Link Gleithammer bedurfte einer großen Bewegungsfreiheit und ließ durch die Bewegungen des Operateurs eine ungewollte Richtungsänderung leichter zu, als bei der Betätigung einer Maschine.

Es läßt sich jedoch festhalten, daß bei Vorliegen von Verschiebeschichten der selbstentwickelte TEP-Extraktor, die Allopro-Raspelmaschine und der Gleithammer von Link in der Lage waren, einzementierte Prothesen aus einem Femur zu entfernen. Bezogen auf die Schlagkraft rangierte der TEP-Extraktor eher hinter den anderen Geräten.

3.2. Ergebnisse der Kraftmessungen

3.2.1. Einzelergebnisse der Kraftmessungen

1. Versuch: Kraft und Frequenzmessung des TEP-Extraktors mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Ergebnis: Bei dem Versuch mit 10 N Vorspannung und 5 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 215,63 N Standardabweichung = 17,75.

Es wurde eine Frequenz von 50 Hz (+/- 1 Hz) gemessen. (Entspricht der Werksangabe von 3000 Schlägen/min.)

Bei dem Versuch mit 15 N Vorspannung und 7,5 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 292,13 N Standardabweichung = 17,46.

Es wurde eine Frequenz von 55 Hz (+/- 1 Hz) gemessen.

Daraus ergab sich eine deutliche Kraftzunahme unter der Druckerhöhung.

Die Ergebnisse sind in einzelnen Tabelle 1 und Abb. 5 zu entnehmen.

Tabelle 1: Versuch 1. Ergebnisse der Kraft- und Frequenzmessung des **TEP-Extraktors**

Zugkraft in N	10,00	15,00
Betriebsdruck in bar	5,00	7,50
Frequenz in Hz	50,00	55,00
Laufende Einzelversuchsnummer	Kraft in N	
1	182,00	276,00
2	227,00	299,00
3	242,00	319,00
4	233,00	330,00
5	242,00	330,00
6	223,00	293,00
7	226,00	307,00
8	230,00	303,00
Mittelwert	225,63	307,13
Standardabweichung N	17,75	17,46
Mittelwert minus Zugkraft	215,63	292,13

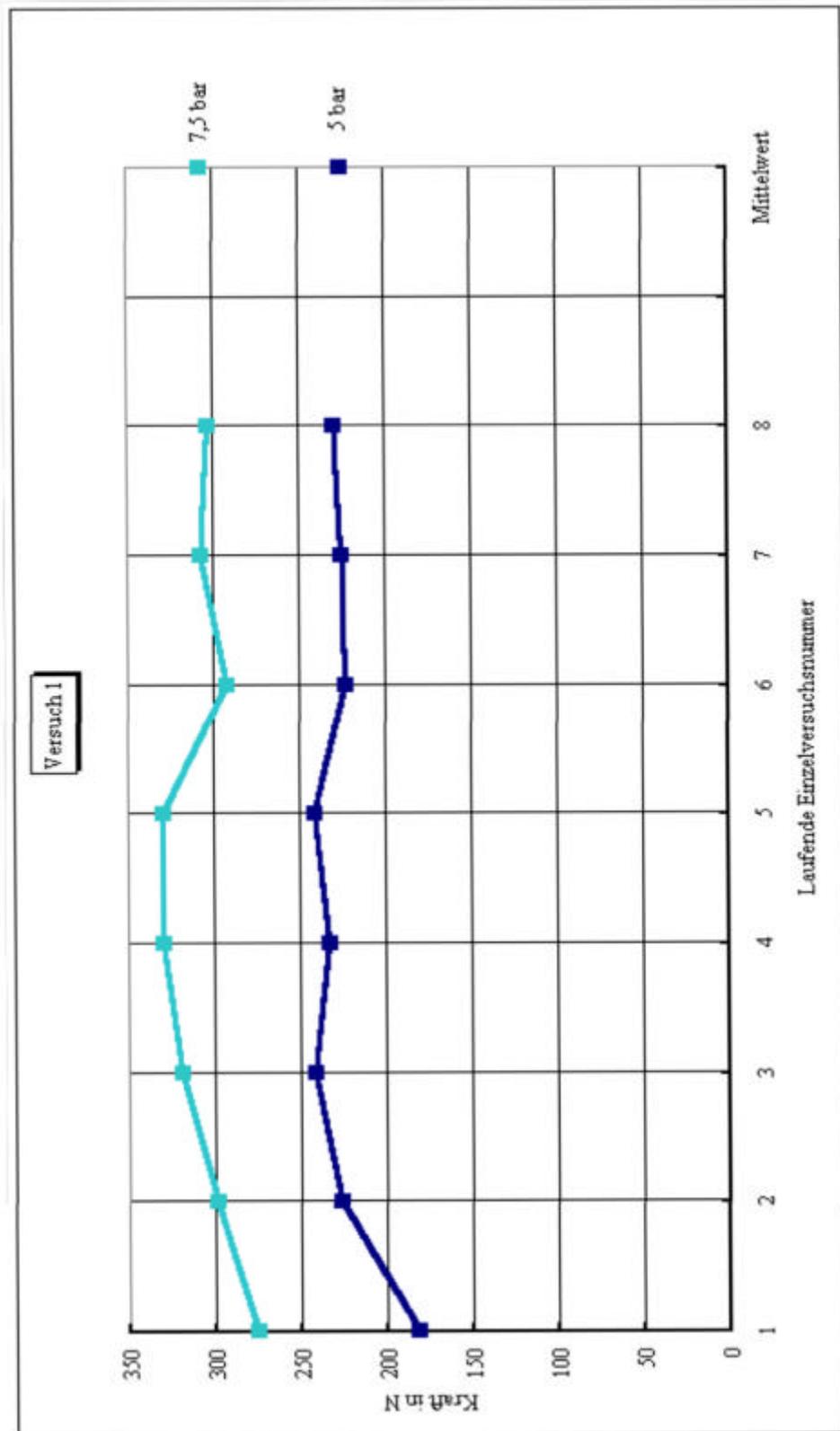


Abb. 5: Versuch 1. Ergebnisse der Kraftmessung des **TEP-Extraktors**

2. Versuch: Kraft und Frequenzmessung der Schenker-Raspelmaschine AirHit 6 mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Ergebnis: Bei dem Versuch ergab sich unter 10 N Vorspannung und 6 bar Druck ein Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 175,50 N Standardabweichung = 16,14. Als Frequenz wurden 50 Hz gemessen. Die Ergebnisse sind im einzelnen Tabelle 2 und Abb. 6 zu entnehmen.

Tabelle 2: Versuch 2. Ergebnisse der Kraft- und Frequenzmessung der **Schenker-Raspelmaschine AirHit 6**

Zugkraft in N	10,00
Betriebsdruck in bar	6,00
Frequenz in Hz	50,00
Laufende Einzelversuchsnummer	Kraft in N
1	199,00
2	194,00
3	186,00
4	163,00
5	161,00
6	208,00
7	206,00
8	176,00
9	166,00
10	218,00
11	194,00
12	188,00
13	169,00
14	189,00
15	172,00
16	203,00
17	170,00
18	184,00
19	206,00
20	214,00
21	189,00
22	175,00
23	169,00
24	172,00
25	168,00
26	195,00
27	182,00
28	163,00
29	199,00
30	187,00
Mittelwert	185,50
Standardabweichung N	16,14
Mittelwert - Zugkraft	175,50

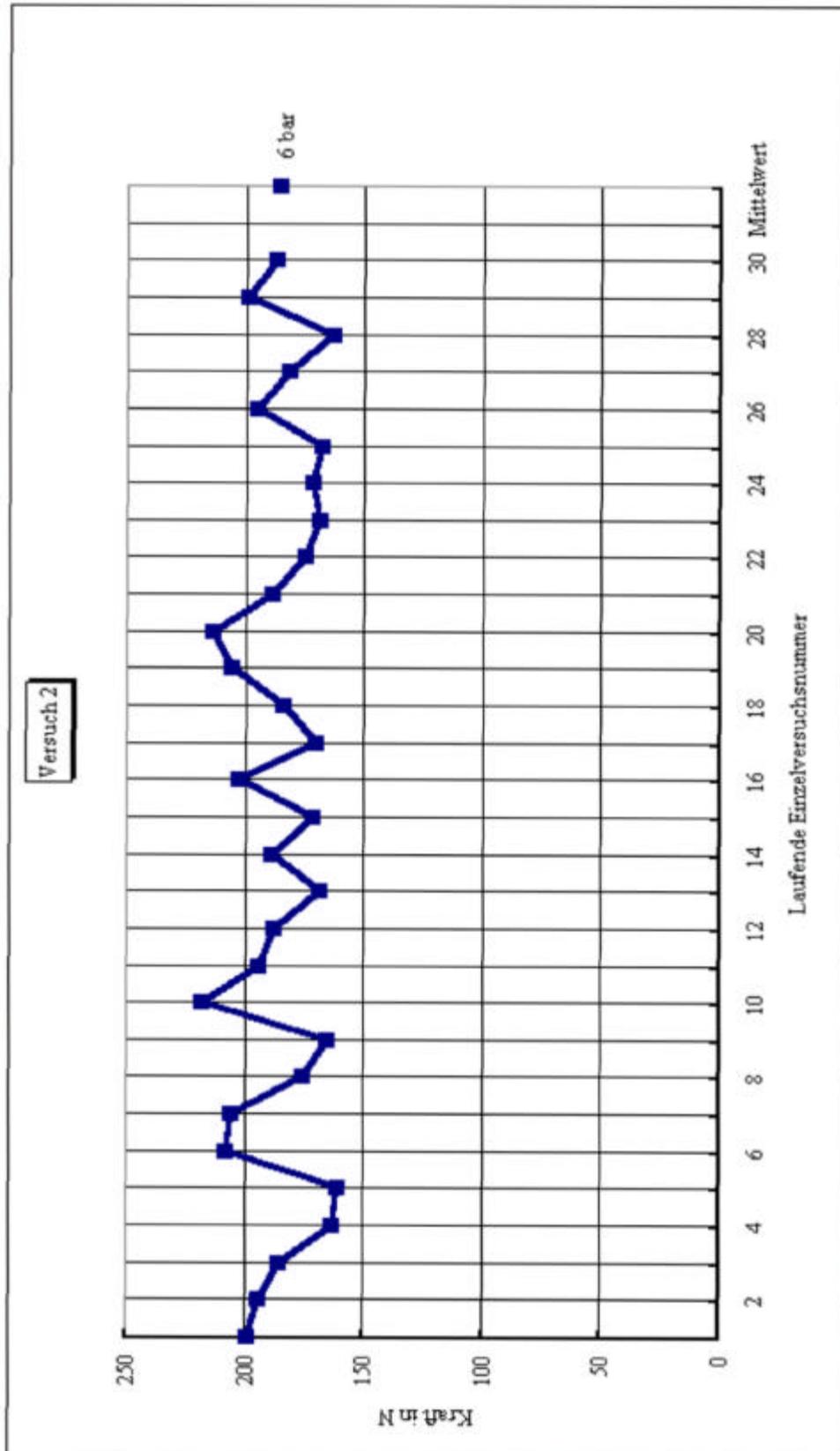


Abb. 6: Versuch 2. Ergebnisse der Kraftmessung der Schenker AirHit 6

3. Versuch: Kraft und Frequenzmessung der Allopro-Raspelmaschine mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Ergebnis: Bei dem Versuch mit 10 N Vorspannung und 5 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 542,90 N Standardabweichung = 7,62.

Bei dem Versuch mit 10 N Vorspannung und 6 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 538,60 N Standardabweichung = 7,76.

Bei dem Versuch mit 10 N Vorspannung und 8 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 572,86 N Standardabweichung = 49,95.

Bei dem Versuch mit 15 N Vorspannung und 8 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 620,00 N Standardabweichung = 15,36.

Bei dem Versuch mit 19 N Vorspannung und 8 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 625,67 N Standardabweichung = 10,03.

Bei dem Versuch mit 15 N Vorspannung und 10 bar Druck ergab sich der Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 606,20 N Standardabweichung = 43,20.

Daraus ergab sich eine deutliche Kraftzunahme unter der Druckerhöhung, jedoch spielte auch die Vorspannung eine erhebliche Rolle. Bei einer Vorspannung von 19 N und 8 bar erschien die Grenze der Leistungsfähigkeit erreicht zu sein, da eine weitere Steigerung des Druckes bereits zu einem Abfall der maximal gemessenen Kraft führte. Die Ergebnisse sind in einzelnen Tabelle 3 und Abb. 7 zu entnehmen.

Tabelle 3: Versuch 3. Ergebnisse der Kraft- und Frequenzmessung der **Allopro-Raspelmaschine**

Zugkraft in N	10,00	10,00	10,00	15,00	19,00	15,00
Betriebsdruck in bar	5,00	6,00	8,00	8,00	8,00	10,00
Frequenz in Hz	Einzelschläge					
Laufende Einzelversuchsnummer	Kraft in N Spitzenwert					
1	565,00	557,00	630,00	603,00	623,00	614,00
2	562,00	550,00	618,00	614,00	653,00	608,00
3	561,00	555,00	614,00	637,00	645,00	619,00
4	554,00	551,00	613,00	650,00	651,00	699,00
5	542,00	559,00	583,00	635,00	647,00	566,00
6	556,00	546,00	481,00	639,00	649,00	
7	550,00	536,00	541,00	640,00		
8	547,00	553,00		652,00		
9	549,00	536,00		645,00		
10	543,00	543,00				
Mittelwert	552,90	548,60	582,86	635,00	644,67	621,20
Standardabweichung N	7,62	7,76	49,95	15,36	10,03	43,20
Mittelwert minus Zugkraft	542,90	538,60	572,86	620,00	625,67	606,20

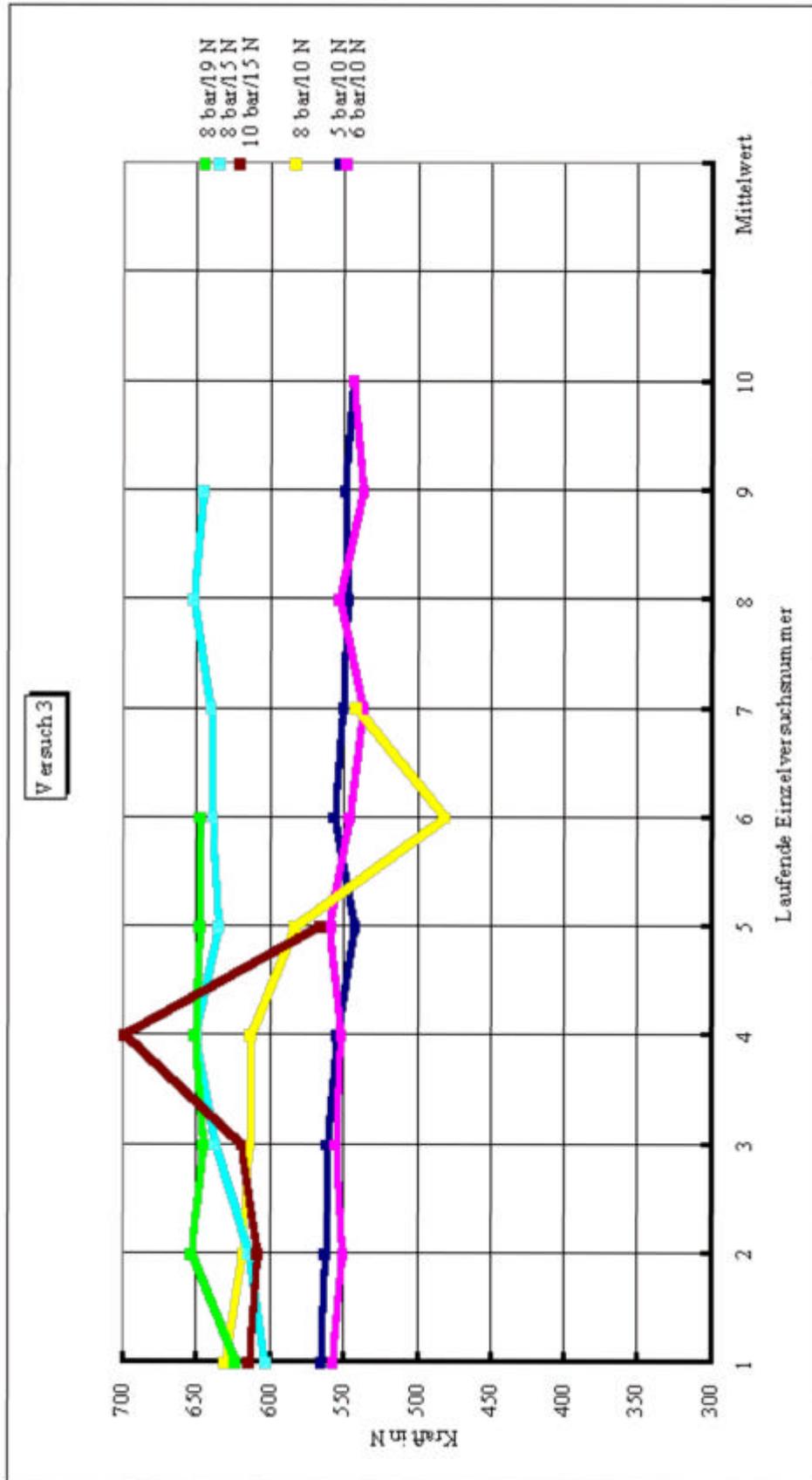


Abb. 7: Versuch 3. Ergebnisse der Kraftmessung der Allopro-Raspel

4. Versuch: Kraft und Frequenzmessung des Hilti TP 400 Meißelhammers mit Hilfe von DMS und Oszilloskop.

Ergebnis: Bei dem Versuch ergab sich unter 10 N Vorspannung und 6 bar Druck ein Mittelwert der Zugkraft minus der Vorspannung von 530,73 N

Standardabweichung = 32,88.

Es wurde eine Frequenz von 40 Hz gemessen.

Die Ergebnisse sind in einzelnen Tabelle 4 und Abb. 8 zu entnehmen.

Tabelle 4: Versuch 4. Ergebnisse der Kraft- und Frequenzmessung des **Hilti TP 400 Meißelhammers**

Betriebsspannung in Volt	220
Zugkraft in N	10
Frequenz in Hz	40
Laufende Einzelversuchsnummer	Kraft in N
1	454,00
2	507,00
3	524,00
4	471,00
5	567,00
6	575,00
7	560,00
8	518,00
9	525,00
10	527,00
11	578,00
12	567,00
13	558,00
14	590,00
15	521,00
16	556,00
17	589,00
18	533,00
19	545,00
20	576,00
21	578,00
22	533,00
23	512,00
24	498,00
25	536,00
26	564,00
27	520,00
28	544,00
29	572,00
30	524,00
Mittelwert	540,73
Standardabweichung N	32,88
Mittelwert - Zugkraft	530,73

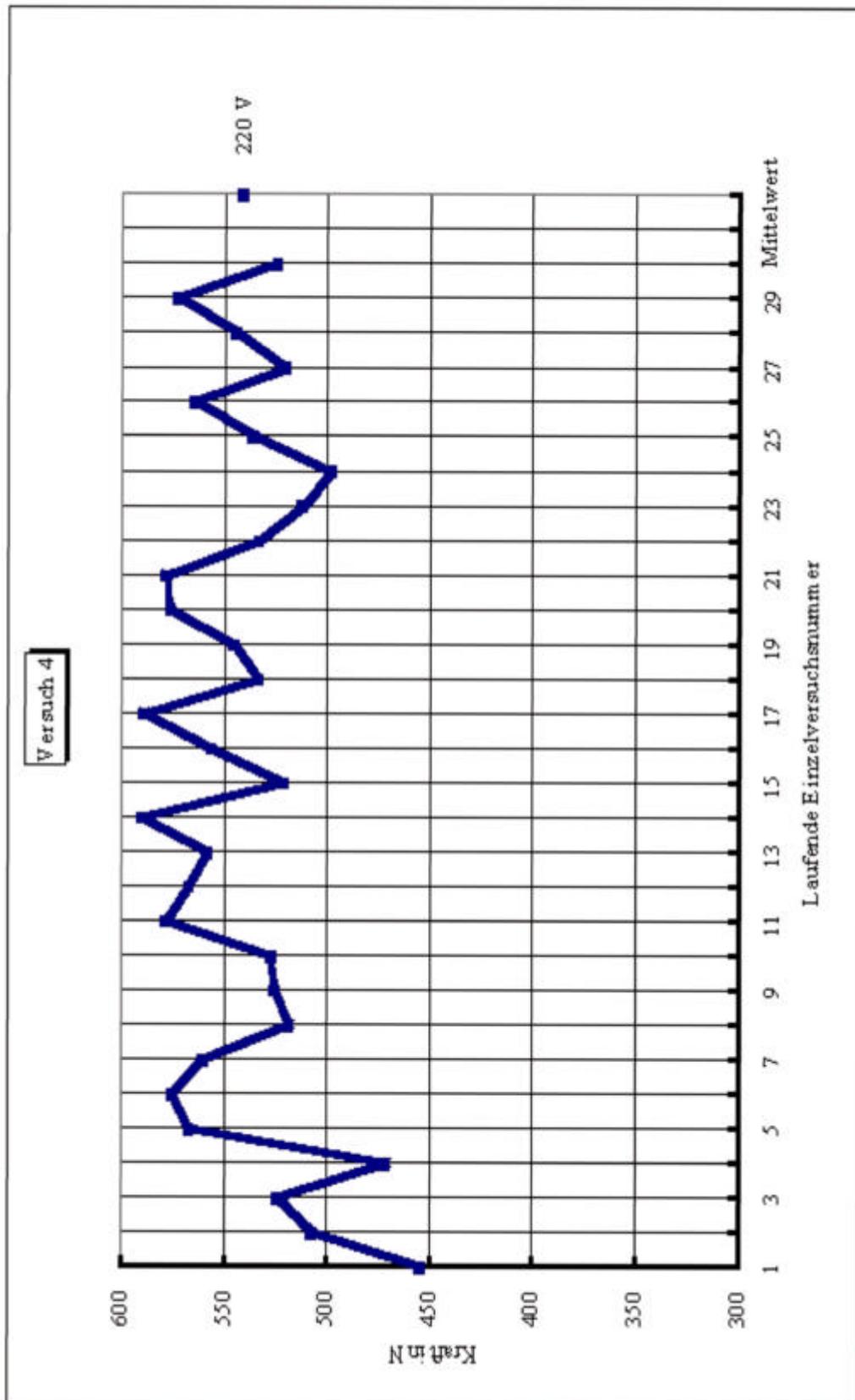


Abb. 8: Versuch 4. Ergebnisse der Kraftmessung des **Hilti TP 400**

5. Versuch: Kraftmessung des Link Gleithammers mit Hilfe von DMS.

Ergebnis: Bei dem Versuch mit linksseitig geführtem und bei dem Aufprall festgehaltenem Gewicht, in Befestigungsrichtung blickend, ergab sich ein Mittelwert der Spitzenwertkraft von 969,54 N.

Standardabweichung = 87,70.

Bei dem Versuch mit rechtsseitig geführtem und bei dem Aufprall festgehaltenem Gewicht, in Befestigungsrichtung blickend, ergab sich ein Mittelwert der Spitzenwertkraft von 1042,29 N.

Standardabweichung = 54,54.

Bei dem Versuch mit linksseitig geführtem und vor dem Aufprall los-gelassenem Gewicht, in Befestigungsrichtung blickend, ergab sich ein Mittelwert der Spitzenwertkraft von 673,33 N.

Standardabweichung = 78,51.

Bei dem Versuch mit rechtsseitig geführtem und vor dem Aufprall losgelassenem Gewicht, in Befestigungsrichtung blickend, ergab sich ein Mittelwert der Spitzenwertkraft von 675,37 N.

Standardabweichung = 87,06.

Bei dem Versuch mit linksseitig geführtem und bei Aufprall festgehaltenem Gewicht, in Griffrichtung blickend, ergab sich ein Mittelwert der Spitzenwertkraft von 889,73 N.

Standardabweichung = 74,76.

Daraus ergab sich, daß die größtmögliche Kraftausübung mit in der rechten Hand festgehaltenem Gewicht in Blickrichtung des auszuschlagenden Objektes möglich war. Die Schlagtechnik erforderte eine geringe Einübungszeit, konnte jedoch trotz Anstrengung über zumindest 40 Schläge aufrechterhalten werden, d.h., es handelt sich hierbei nicht um einmalig erreichbare Spitzenwerte, sondern, wie die Standardabweichung ebenfalls zeigt, um eine zumindest über kurze Zeit konstant haltbare Leistung.

Die Ergebnisse sind im einzelnen Tabelle 5 und Abb. 9 zu entnehmen.

Tabelle 5: Versuch 5. Ergebnisse der Kraft und Frequenzmessung des**Link Gleithammers**

	Pers. in Richt. Befestigung	Pers. In Richt. Befestigung	Pers. in Richt. Befestigung	Pers. in Richt. Befestigung	Pers. in Richt. Griff
	Gewicht festgehalten	Gewicht festgehalten	Gewicht vor Aufprall losgelassen	Gewicht vor Aufprall losgelassen	Gewicht festgehalten
	li. Hand	re. Hand	li. Hand	re. Hand	li. Hand
Laufende Einzel- versuchsnummer	Kraft in N				
1	741,00	978,00	626,00	607,00	755,00
2	795,00	962,00	727,00	542,00	853,00
3	778,00	1073,00	667,00	621,00	873,00
4	839,00	1019,00	606,00	660,00	807,00
5	886,00	1037,00	803,00	590,00	877,00
6	810,00	1098,00	752,00	667,00	755,00
7	976,00	1080,00	848,00	515,00	860,00
8	979,00	969,00	732,00	633,00	849,00
9	993,00	970,00	589,00	584,00	807,00
10	937,00	1027,00	712,00	635,00	937,00
11	1002,00	1005,00	527,00	638,00	862,00
12	953,00	1033,00	575,00	646,00	882,00
13	1047,00	1000,00	623,00	717,00	855,00
14	853,00	1044,00	758,00	786,00	913,00
15	1017,00	1006,00	648,00	576,00	877,00
16	932,00	1114,00	656,00	832,00	879,00
17	919,00	1150,00	775,00	823,00	923,00
18	991,00	1084,00	823,00	615,00	902,00
19	994,00	1072,00	586,00	692,00	772,00
20	1027,00	992,00	672,00	881,00	938,00
21	1127,00	1104,00	622,00	666,00	994,00
22	998,00	1153,00	610,00	596,00	891,00
23	1018,00	957,00	650,00	777,00	854,00
24	1031,00	1041,00	621,00	773,00	861,00
25	1018,00	962,00	677,00	679,00	960,00
26	940,00	1046,00	753,00	719,00	811,00
27	1017,00	1077,00	575,00	693,00	858,00
28	1064,00	1135,00	691,00	692,00	877,00
29	1002,00	1018,00	651,00	766,00	991,00
30	959,00	1017,00	645,00	640,00	1022,00
31	1047,00	1039,00			1015,00
32	1027,00	1014,00			994,00
33	915,00	1164,00			1057,00
34	989,00	1071,00			
35	1064,00	1036,00			
36	1007,00	1007,00			
37	989,00	1023,00			
38	1132,00	1030,00			
39	999,00				
Mittelwert	969,54	1042,29	673,33	675,37	889,73
Standardabw. N	87,70	54,54	78,51	87,06	74,76

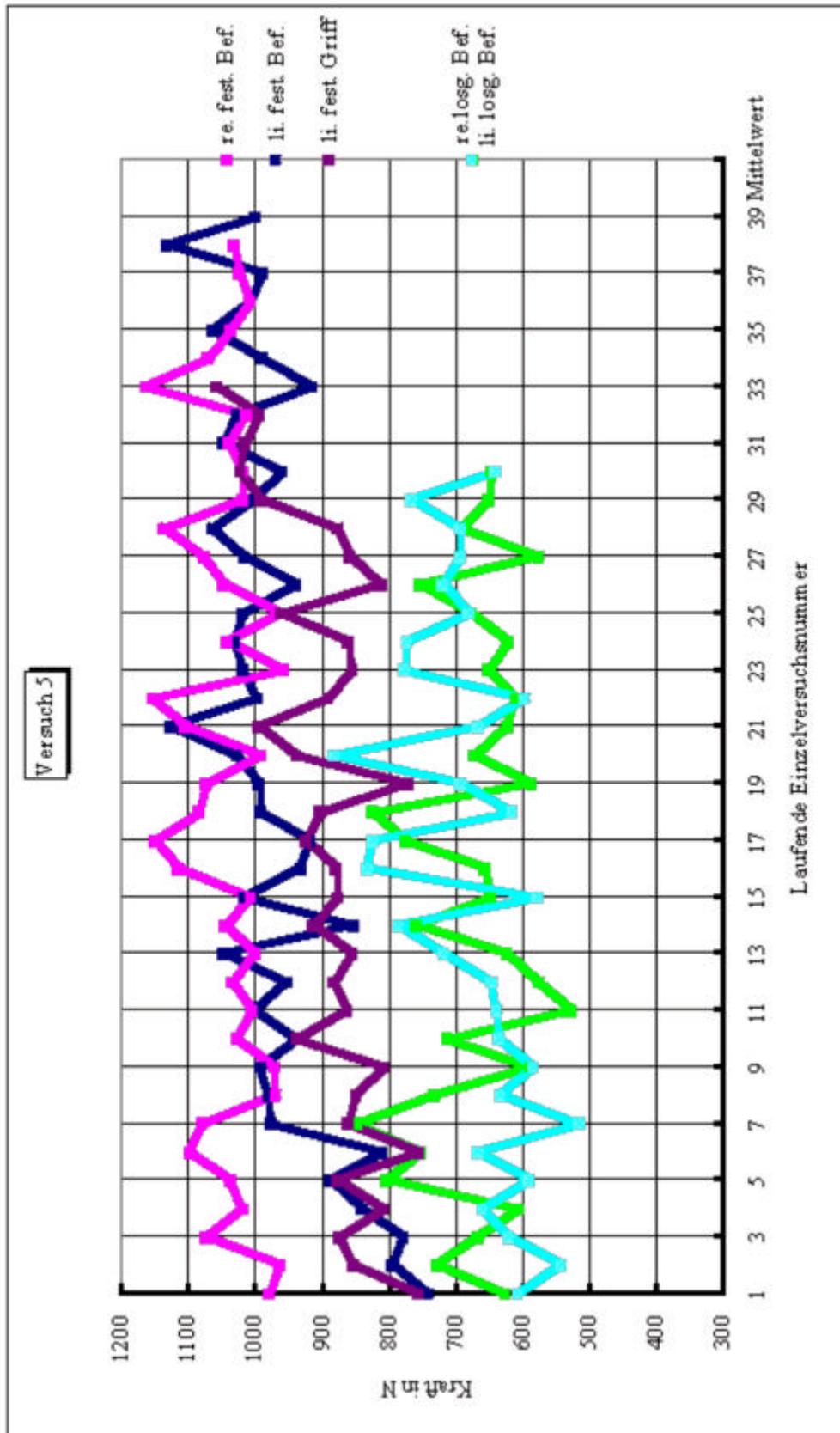


Abb. 9: Versuch 5. Ergebnisse der Kraftmessung des **Link Gleithammers**

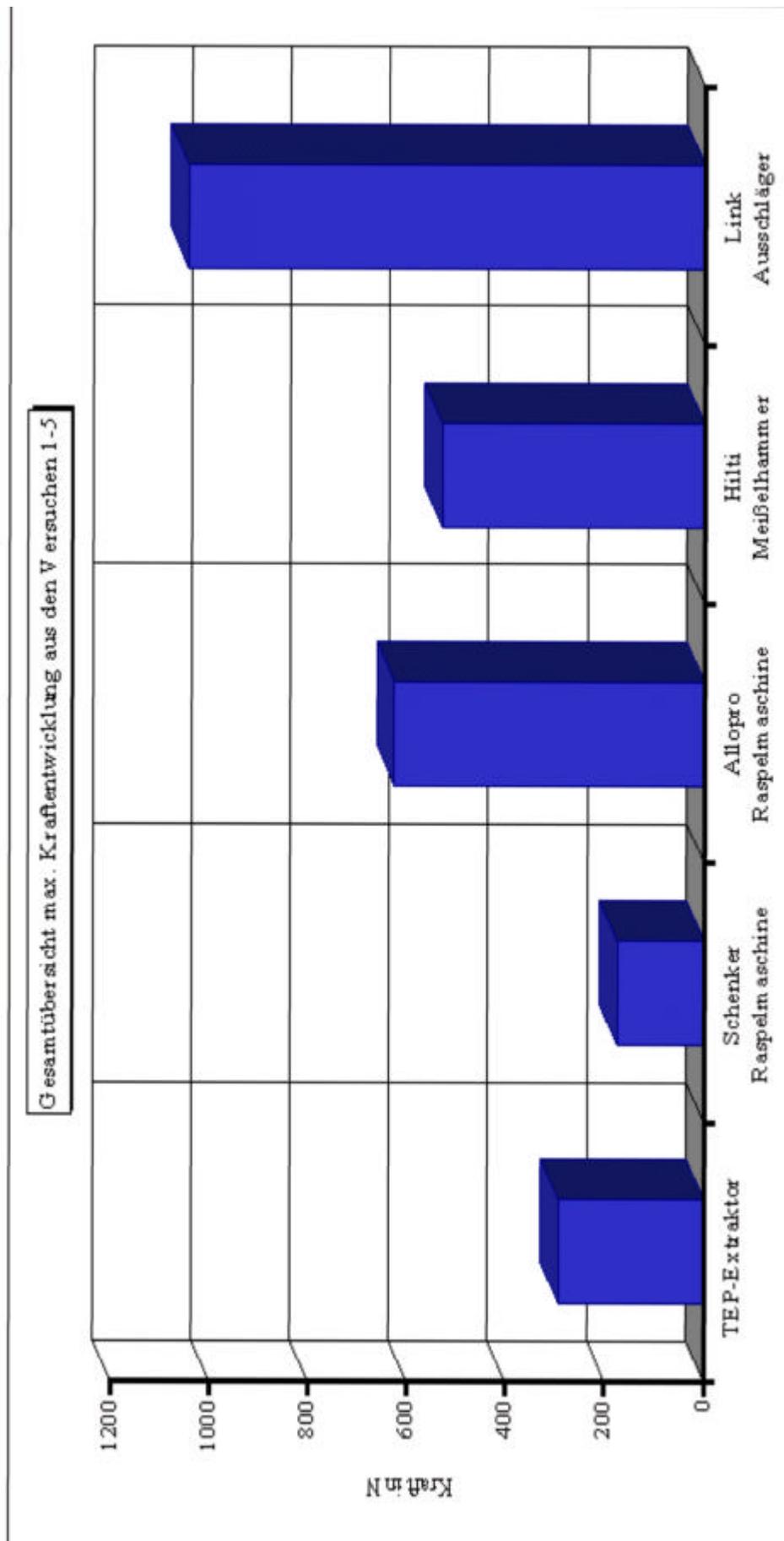


Abb.10: Übersicht der Ergebnisse der Versuche 1-5.
Darstellung der Mittelwerte

3.2.2. Zusammenfassung der Ergebnisse der Kraftmessungen

Bei den Versuchen kam es im wesentlichen darauf an, die Kraftentwicklung der Maschinen (Abb. 10) unter gleichzeitig Messung der Frequenz fest-zustellen.

Bei Versuch 1 zeigte sich, daß die Kraftentwicklung des TEP-Extraktors durch Druckerhöhung und unter erhöhter Vorspannung um 35 % auf 292 N gesteigert werden konnte. Die Frequenzsteigerung von 50 Hz auf 55 Hz unter der Druckerhöhung erklärt sich bauartbedingt durch den Ventil-kolbenmechanismus. Die Ergebnisse des Versuchs 2 zeigten, daß die Schenker AirHit 6 Maschine die geringste Kraftentwicklung mit 175 N aller Maschinen zeigte. Dies war zu erwarten, da die Maschine vom Mechanismus her dem TEP-Extraktor am ähnlichsten war, jedoch insgesamt eine geringere Masse besaß. Eine Versuchsreihe mit erhöhten Druckwerten wurde nicht durchgeführt, da die Maschine hierfür nicht zugelassen war.

Die Allopro-Raspelmaschine (Versuch 3) war in der Lage, mit max. 625 N eine ca. doppelt so große Kraft wie der TEP-Extraktor zu erzeugen. Auch hier ergab sich unter der Druckerhöhung eine deutliche Kraftzunahme, jedoch spielte auch hier die Vorspannung eine deutliche Rolle. Bei einer Vorspannung von 19 N und 8 bar erschien die Grenze der Leistungsfähigkeit erreicht, da eine weitere Steigerung des Druckes bereits zu einem Abfall des Spitzenkraftwertes führte.

Bei Versuch 4 zeigte sich bei den Messungen der elektropneumatisch betriebenen Hilti TP 400 eine im Vergleich geringe Kraftentwicklung der Maschine mit Spitzenwerten von durchschnittlich 530 N. Die Kraftentwicklung lag somit noch unter der der Allopro-Raspelmaschine, was aufgrund der Größe und des Gewichtes der Maschine nicht erwartet wurde.

Bei den Kraftmessungen des Link Gleithammers (Versuch 5) zeigte sich, daß die größtmögliche Kraftausübung mit rechtshändig festgehaltenem Gewicht in Blickrichtung des auszuslagenden Objektes möglich war. Da dieses die normale Haltung für einen Rechtshänder ist, war das Ergebnis zu erwarten. Überraschenderweise stellte sich jedoch heraus, daß der erreichbare Kraftspitzenwert mit max. 1042 N weit über dem Niveau der verschiedenen eingesetzten Maschinen lag. Die Schlagtechnik erforderte eine geringe Einübungszeit, konnte jedoch trotz Anstrengung über zumindest 40 Schläge aufrecht erhalten werden. Es handelt sich hierbei nicht um einmalig erreichbare Spitzenwerte, sondern, wie die Standardabweichung ebenfalls zeigt, um eine für diese begrenzte Schlagzahl konstant erzielbare Leistung.

4. Diskussion

4.1. Erörterung von üblichen Extraktionsmethoden.

Die Entfernung einer Femurprothese mit dem Zementmantel kann sehr schwierig sein (12,20,61). Bei Revisionsoperationen ist dieser Operations-schritt Ursache von Komplikationen (49,61,63), von langen OP-Zeiten und einer erhöhten postoperativen Mortalität (63).

Die Schwierigkeiten bei der Extraktion liegen an der Anatomie des Femurs (54). Die Markraumböhle hat durch den Varusverlauf sowie die Ante-kurvatur eine doppelte S-Form (59). Sie erlaubt ein Einbringen der Prothese und bietet eine große Oberfläche zur innigen Verbindung mit der Prothese. Nach der Zementauffüllung liegen jedoch Hinterschneidungen vor, welche die Hauptursache von Problemen bei der Extraktion sind.

Nach Untersuchungen von Mallory ließen sich auf 62 mm Länge ein-zementiert Prothesen (Buck-Prothesen mit "auto-lock-effect") mit einer Kraft von 908 N ! in vitro nicht entfernen (43).

Zahlreiche Methoden wurden entwickelt, um die Extraktion der Femurkomponente zu erleichtern bzw. überhaupt zu ermöglichen.

Bei der Extraktion soll möglichst wenig Knochen zerstört werden (51). Da es sich beim Femur um einen einseitig, offenen Zylinder handelt, bleibt nur ein kleiner Zugang im Verhältnis zur Implantatlänge.

Eine verbreitete Methode ist die Fenstertechnik, bei der nach Schaffung eines Fensters im distalen Femurbereich das Implantat nach proximal heraus-gestößelt wird und distale Zementanteile entfernt werden können (40). Es existieren verschiedene Methoden, z.B. mit einem 1 cm breiten bis zu 20 cm langen Loch an der anterioren Femuroberfläche (47), oder einem 4 mm x 10 mm großen Loch (45), oder als mehrfache Perforation mittels 9 mm Löchern in mindestens 5 cm Abständen (61). Diese führen jedoch immer zu einer erheblichen Schwächung des Knochens mit entsprechendem Frakturrisiko.

Eine andere Methode besteht darin, den Zementköcher mit einem starren manuell bedientem Bohrer direkt aufzubohren(52,63), oder sich zusätzlich einer externen Führungslehre zu bedienen, welche mit einer großen Metallklammer am Femurschaft befestigt wird (13).

Bei verbliebenen, abgebrochenen Prothesenteilen kann über eine intramedulläre Schienung oder Führungsapparatur eine zentrale Aufbohrung des

Prothesenrestes erfolgen. Anschließend wird ein Schraubenausdreher (69) oder eine Schraube (44) in ein zuvor eingeschnittenes Gewinde eingebracht, um das distale Fragment mit einem Gleithammer zu entfernen.

Eine weitere Strategie besteht in der Zemententfernung unter zu Hilfenahme von speziellen positiv und negativ geschliffenen Meißeln (59,70), wobei Licht über Glasfaserkabel von proximal oder distal eingesetzt werden kann (23).

Eine hilfreiche, wenn auch kostspielige Methode, ein distales Femurprothesenfragment zu entfernen, ist die von Harris beschriebene Verwendung eines Midas-Rex Hochgeschwindigkeitsbohrers (20,21,22,23). Hierbei wird zunächst unter Verwendung einer Führungslehre im Verlauf der Schaftachse ein Loch in das distale Prothesenfragment gebohrt. Mit einer nur seitlich schneidenden Fräse wird sodann ein Unterschnitt hergestellt, woraus ein erweiterter Hohlraum unterhalb der Eröffnungsbohrung resultiert. In diesen Hohlraum läßt sich nun ein spezieller Extraktor so verkeilen, daß das Fragment mit einem Gleithammer entfernt werden kann.

Auch über das Fassen des Prothesenfragments mit einer Gripzange (66), das Anbringen spezieller Befestigungsapparaturen am freien Prothesenende (17) oder die Ausbohrung des Markkanals mit Kronenbohrern (14) wurde berichtet.

Als hilfreich hat sich in den letzten Jahren die Lösung des Zementes mit Ultraschall herausgestellt (39,65). Bei der Applikation von Ultraschall über unterschiedlich geformte Wandlerspitzen wird das Polymethylmethacrylat (PMMA) plastisch verformbar. Es muß dann sukzessiv entfernt werden, da es nicht gelingt, eine größere Menge gleichzeitig zu lösen, oder nur unter erheblicher Hitzeentwicklung und unter Freisetzung von Monomeren. Dennoch setzt sich das Verfahren zunehmend durch, da es zumindest bei einem intakten Knochen beinahe unmöglich ist, eine Perforation hervorzurufen. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, daß eine zunächst angenommene Schwächung des Knochens v.a. in Bezug auf eine Torsionsbelastung durch die Ultraschallbehandlung nicht eintrat (9).

Neben kleineren Problemen bei der Extraktion, wie Hitzeentwicklung, Knochennekrosen, verlängerte OP-Zeiten, erhöhter Blutverlust, Freisetzen von Metallspänen wird immer wieder das Risiko einer Femurfraktur erwähnt (11,26). Diese gefürchtete Komplikation bei TEP-Wechsel-Operationen hat dazu geführt, daß manche Operateure bereits vor der Extraktion Drahtcerclagen (11) um den Femur oder gar DC-Platten (26) anbringen, um dieses zu verhindern.

All dieses zeigt, daß eine optimale Methode noch nicht zur Verfügung steht.

Viele Operationen enden noch immer mit der Entfernung der Femurprothese oder des distalen Prothesenfragmentes mit dem Gleithammer (58). Hierbei handelt es sich um eine nicht selten schweißtreibende Methode, die in Anbetracht der Fortschritte in der Werkzeugtechnik geradezu archaisch anmutet.

Es liegt auf der Hand, maschinelle Extraktoren zu entwickeln und auf ihre Leistungsfähigkeit hin zu überprüfen.

4.2. Wertung der Untersuchungsergebnisse

Im wesentlichen ergibt sich aus den Pilotversuchen, daß der selbst entwickelte TEP-Extraktor, die Allopro-Raspelmaschine und der Gleit-hammer von Link nur dann in der Lage waren, in den Femur einzementierte Prothesen zu entfernen, wenn eine Verschiebeschicht vorlag.

Die Schlagkraft des eigenen Extraktors war etwa halb so groß wie die der Allopro-Raspelmaschine. Aufgrund der höheren Schlagfrequenz leistet sie jedoch mehr Arbeit und kann zum selben Endergebnis führen. Lediglich beim Pilotversuch 3 konnte die Allopro-Raspelmaschine von der höheren Schlagkraft profitieren.

Weiterhin haben die Versuche gezeigt, daß bei Benutzung von Maschinen mit hohen einzelnen Kraftstößen knöcherne Absprengungen auftreten. Auch bei einer Schlagfrequenz von 50 Hz kommt es zu keiner allmählichen Lockerung, sondern zu einem plötzlichen Nachgeben mit anschließender, harmonischer Extraktion. Dem gegenüber zeigt sich, daß sich die Prothesen auch mit Maschinen entfernen lassen, die geringere maximale Schlagkräfte entwickeln, als der bisher benutzte Gleithammer. Danach muß die Frequenz der Schläge doch eine wesentliche Rolle spielen.

Eine Lockerung zwischen Zement und Knochen aufgrund von Mikrobewegungen ist bei den von den Maschinen geleisteten Frequenzen jedoch nicht möglich.

Es gibt Bedingungen, unter welchen sich zementierte Prothesen weder durch eine der genannten Maschinen, noch mit einem Gleithammer entfernen lassen oder nur unter Destruktion des Femurs. Dieses liegt im wesentlichen an Hinterschneidungen in der S-förmigen Markhöhle des Femurs.

Die getesteten Geräte haben nach den Kraftmessungen eine große Leistungsbreite. Noch größere Unterschiede bestehen in der geleisteten Arbeit. Der Hilti TP 400 Meißelhammer ist in der Lage, eine ähnlich große Kraft zu entwickeln wie die Maschine der Fa. Allopro, aber die geleistete Arbeit ist aufgrund der Frequenz und der Wegstrecke, welche der Meißel zurücklegt um ein vielfaches größer. Auch der TEP-Extraktor ist deshalb in der Lage, ein größere Arbeit zu verrichten als die Allopro-Raspelmaschine. Dennoch erscheint nach allen Versuchen nicht die geleistete Arbeit oder Energie die entscheidende Rolle zu spielen, sondern der einzelne Kraftstoß.

Demnach kam die Allopro-Maschine in ihrer Leistung dem Gleithammer am nächsten. Sie bot aber keinen Vorteil gegenüber dem Gleithammer, weil mit dem

Gleithammer sehr viel höhere Schlagkräfte erreichbar waren (1042 N gegenüber 625 N).

Die Untersuchungsergebnisse lassen folgende Schlüsse für die operative Praxis zu:

1. Frische zementierte Femurprothesen sind wegen des Vorliegens von Hinterschneidungen nicht ohne Frakturierung des Femurs zu extrahieren.
2. Voraussetzung für die Entfernung von gelockerten Prothesen mittels Extraktoren ist das Vorliegen einer Verschiebeschicht (entsprechend der klinischen Bindegewebstapete) von etwa 3 mm.
3. Die Stärke der mit den Extraktoren erreichbaren Kraftstöße ist wichtiger als die Arbeitsleistung oder die Energie.
4. Der Gleithammer war den getesteten maschinellen Extraktoren deshalb in seiner Leistungsfähigkeit für den klinischen Einsatz überlegen.
5. Die Hoffnung auf eine Zementzerrüttung durch Repetition der Kraftstöße mit einer Frequenz von etwa 50 Hertz - etwa in Analogie zur Wirkung von Bohrhämmern auf Beton - erfüllte sich nicht.
6. Die maschinellen Extraktoren dürften sich nur für die Entfernung von stärker gelockerten Femurprothesenkomponenten eignen. Der eigene Extraktor-Prototyp rangierte bezüglich der Leistungsstärke eher am Schluß der Geräte (Schlagkraft des Gleithammers: 1042 N, Allopro-Raspelmaschine: 625 N, Hilti TP 400: 530 N, TEP-Extraktor: 292 N, Schenker-Raspelmaschine AirHit 6: 175 N).
7. Es wäre wünschenswert, einen Extraktor mit einer Schlagkraft über der des Gleithammers zu entwickeln, mit der gleichzeitigen Möglichkeit einer hohen Repetition - vergleichbar etwa der Rückstoßkraft und Frequenz eines schweren Maschinengewehrs oder einer Schnellfeuerkanone (1000 - 2000 Schuß/min.). Daraus könnten sich neue Aspekte für die Extraktion ergeben, weil statt einer Zerrüttung des Zements wahrscheinlich eine Erwärmung und Erweichung auftreten würde.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen druckluftbetriebenen Extraktor mit einer bestimmten Frequenz und Schlagkraft zu entwickeln, um Femurkomponenten beim Hüftendoprothesen-Wechsel zu entfernen.

Ein Prototyp auf der Basis eines Preßluftmeißels (TEP-Extraktor) wurde in Pilotversuchen auf die Funktion hin überprüft und mit einer Allopro-Raspelmaschine sowie einem Gleithammer der Fa. Link verglichen. In weiteren Versuchen wurden dann vergleichende Kraftmessungen mit Hilfe von Dehnmeßstreifen bei 5 Geräten durchgeführt (TEP-Extraktor, Schenker-Raspelmaschine AirHit 6, Allopro-Raspelmaschine, Hilti TP 400, Gleithammer).

Prinzipiell waren sowohl der TEP-Extraktor als auch die Allopro-Raspelmaschine und der Gleithammer in der Lage, Prothesen aus einem Femur zu entfernen, wenn diese mit einer Verschiebeschicht einzementiert waren (Simulation der bindegewebigen Einscheidung des Zementköchers bei einer Lockerung).

Die gemessenen Kräfte reichten von 175 N bis 1042 N und waren im einzelnen gut reproduzierbar. Auffällig war insbesondere, daß die höchste Kraftentwicklung mit dem herkömmlich genutzten Gleithammer zu erzielen war.

Die Schlagkraft des eigenen Extraktors war etwa halb so groß wie die der Allopro-Raspelmaschine (292 N gegenüber 625 N). Aufgrund der höheren Schlagfrequenz leistete er jedoch mehr Arbeit. Insgesamt wurde aber deutlich, daß nicht die geleistete Arbeit oder die Energie die entscheidende Rolle spielte, sondern der einzelne Kraftstoß. Schon bei einem Pilotversuch konnte die Allopro-Raspelmaschine von der höheren Schlagkraft profitieren.

Eine Maschine, die nur fähig ist, Einzelschläge zu produzieren, wie z. B. die Raspel der Fa. Allopro, bietet keine Vorteile gegenüber dem Gleithammer, insbesondere dann, wenn mit diesem ungleich höhere Spitzenkräfte zu erreichen sind (1042 N gegenüber 625 N).

Ideal einzementierte Femurkomponenten verkeilen sich aufgrund von Hinterschneidungen fest in der Markhöhle und lassen sich deshalb weder durch eine der genannten Maschinen noch mit einem Gleithammer entfernen.

Die Hoffnung auf eine Zementzerrüttung durch die maschinellen Extraktoren hat sich nicht erfüllt.

Die Untersuchungsergebnisse haben folgende Relevanz für die operative Praxis:

- Die maschinellen Extraktoren dürften sich nur für die Entfernung von stärker gelockerten Femurprothesenkomponenten eignen.
- Der selbstentwickelte TEP-Extraktor rangiert bezüglich seiner Leistungstärke (insbesondere Schlagkraft) eher am Schluß der Geräte (Gleithammer: 1042 N, Allopro-Raspelmaschine: 625 N, Hilti TP 400: 530 N, TEP-Extraktor: 295 N, Schenker-Raspelmaschine Air Hit 6: 175 N).

6. Literaturverzeichnis

1. Ahnfeldt,L.: Re-opererade totala höftledsplastiker i Sverige under aren 1979-1983.
Thesis, University of Göteborg, Göteborg, Sweden, 1987
2. Allopro: Allopro-Raspelmaschine (7040)
Gebrauchsanweisung, 1986
3. Alonso,M., Finn,E.J.: Physik.
Inter European Editions B.V., Amsterdam, 1977
4. Bensmann,G., Krahl,H., Quack,G.: Überlegungen zum Problem der zementlosen Fixation von Endoprothesen.
Tech. Mitteil. Krupp: 37-42, 1989
5. Bosch: Bosch Druckluft-Werkzeuge
Produktinformation: EW-WEB 4/65, 1987
6. Bove,K-H., Becker,J., Müller,K-H.: Meßtechnik zur Kraftbestimmung bei der Knochenbruchheilung mit Hilfe äußerer Festhalter (Fixateur externe)
Messtechnische Briefe 19 Heft 1:12-16, 1983
7. Burke,D.W., O'Conner,D., Zalenski,E.B., Jasty,M., Harris,W.H.:
Micromotion of cemented and uncemented femoral components.
J. Bone Joint Surg. Br. 73-B:33-37, 1991
8. Callaghan,J.J., Elder,S.H., Stranne,S.K., Fulghum,C.F., Seaber,A.V.,
Myers,B.S.: Revision arthroplasty facilitated by ultrasonic tool cement removal.
J. Arthroplasty Dec7(4):495-500, 1992
9. Charnley,J.: Fracture of femoral prosthesis in total hip replacement.
Clin. Orthop. 111:105, 1975
10. Claes,L., Gerngroß, H.: Biomechanische Untersuchungen mit
Dehnungsmeßstreifen zur Änderung der Beanspruchungsverhältnisse am
Oberschenkelknochen nach operativer Versorgung mit Schalenprothesen.
Messtechnische Briefe 17 Heft 2:30-34, 1981
11. Decker,S.: Das besondere Problem der Austausch-operation zementfreier
Prothesen.
Langenbecks Arch. Chir. 372:477-480, 1987

12. Dennis,D.A., Dingman,C.A., Dwight,A.M., O'Lerry,J.F.M., Mallory,T.H., Necip,B.: Femoral cement removal in revision total hip arthroplasty.
Clin. Orthop. 220:142-147, 1987
13. Eftekhar,N.S.: Rechannelization of cemented femur using a guide and drill system.
Clin. Orthop. 123:29, 1977
14. Ehall,R., Stampfel, O., Neubauer, W., Engelke, K.: Neues Instrumentar zur Entfernung abgebrochener distaler Hüftprothesenfragmente.
Akt. Traumatol. 20(1):50-52, 1990
15. Engh,C.A., Bobyn,J.D., Glassman,A.H.: Theory and practice of cementless revision total hip arthroplasty.
Hip (St. Louis) 271-317, 1987
16. Franzén,H., Mjöberg,B., Önnarfält,R.: Early loosening of femoral components after cemented revision.
J. Bone Joint Surg. 74-B:721-724, 1992
17. Glassman,A.H., Engh,C.A.: The removal of porous-coated femoral hip stems.
Clin. Orthop. Dec(285):164-180, 1992
18. Gola,M.M., Gugliotta,A.: Some experimental results concerning the mechanical coupling in endoprosthesis.
Engineering in medicine (London) 16(1):23-27, 1987
19. Griss,P.: Findings on total hip replacement for ten years.
Aktuelle Probleme in Chirurgie und Orthopädie: Bd. 21
Huber-Verlag, Stuttgart-Wien, 1982
20. Harris,W.H., Oh,I.: A new power tool for removal of methylmethacrylate from the femur.
Clin. Orthop. 132:53-54, 1978
21. Harris,W.H., White,R.E., Mitchell,S., Barber,F.: Removal of broken stems of total joint components by a new method: Drilling, undercutting, and extracting without damage to bone.
The Hip: Proceedings of the ninth Open Scientific Meeting of the Hip Society
37-45 St. Louis; C.V. Mosby, 1981

22. Harris,W. H., White,R.E., Mitchell,S., Barber,F.: A new technique for removal of broken femoral stems in total hip replacement.
J. Bone Joint Surg. 63A:843, 1981
23. Harris,W.H.: Revision surgery for failed, nonseptic total hip arthroplasty. The femoral side.
Clin. Orthop. 170:8-20, 1982
24. Heekin,R.D., Callaghan,J.J., Hopkinson,W.J., Savory,C.G., Xenos,J.S.: The porous-coated anatomic total hip prosthesis, inserted without cement
J. Bone Joint Surg. Am. 75-A:77-91, 1993
25. Heisel,J., Schmitt,E.: Implantatbrüche bei Keramik-Hüftendoprothesen.
Z. Orthop. 125:480-490, 1987
26. Hermichen,H.G., Weller,S., Höntzsch,D.: Das besondere Problem der Austauschoperation bei zementierten Prothesen.
Langenbecks Arch. Chir. 372:471-475, 1987
27. HILTI Deutschland GmbH: Meißelhammer TP 800
Produktinformation W 2.12 2/0386/202.14 München, 1990
28. HILTI Deutschland GmbH: Meißelhammer TP 400
Produktinformation W 2.11 2/0586/209.14 München, 1990
29. Höfling,O.: Größen, Einheiten und Gesetze der Physik.
Aulis Verl. Wien, 1967
30. Höfling,O.: Physik, Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium. Dümmler
Verl. 80-84, 1979
31. Hoffmann,K.: Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Meßfehlern beim Messen mit Dehnungsmeßstreifen. Hottinger Baldwin
Messtechnik GmbH: vd 78001; vw-d 02.87 - 3.0 A, 1987
32. Hoffmann,K.: Anwendung der Wheatstone Brückenschaltung
Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: vd 72001; vw-d 3.88 - 3.0 A, 1988
33. Hoffmann,K.: Hinweise zum Applizieren von Dehnungsmeßstreifen (DMS). Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: vd 84005;
vw-d 1.89 - 3.0 A, 1989

34. Hottinger Baldwin Messtechnik: Dehnungsmeßstreifen mit Zubehör
Hottinger Baldwin Meßtechnik GmbH: Datenblatt G 24.01.5, 1986
35. Hottinger, Baldwin Messtechnik GmbH: Meßverstärker DMZ 11
Datenblatt: D 31.58.0, 1982
36. Integral Medizintechnik GmbH, (IMT): Informationsschrift zu
„Der Specht“-Implantator/Explantator Percussion 2, 1992
37. Johnsson,R.: Rate of reoperation following total hip arthroplasty in arthrosis.
Analysis of the survival of the protheses
Rev. Chir. Orthop. 74 Suppl.2:275-6, 1988
38. Keil,S.: Metallische Dehnungsmeßstreifen - Basiselemente für
Überwachungsaufgaben
Technische Überwachung 25:481-486, 1984
39. Klapper,R.C., Caillouette,J.T., Callaghan,J.J., Hozack,W.J.:
Ultrasonic technology in revision joint arthroplasty
Clin. Orthop. Dec(285):147-54, 1992
40. Klein,A.H., Rubash,H.E.: Femoral windows in revision total hip arthroplasty
Clin. Orthop. June (291):164-70, 1993
41. Krämer,J.: Messung der Zugkräfte bei Anwendung der
Wirbelsäulenstreckbandage
Messtechnische Briefe 2: 44-5, 1970
42. Metabowerke GmbH & Co: Metabo Bohrhämmer
Produktinformation: M 6839 32 786.00, 1987
43. Mallory,T. H.: The evolution of the buck-32 total hip prosthesis.
Clin. Orthop. 147:148, 1980
44. Mollan,R.A.B., Watters,P.H., Luney,W., Urquhan,W.: New technique for
removal of broken femoral stems in THR.
Orthop. Rev. 12:77, 1983
45. Moreland,J.R., Marder,R., Anspach,W.E.: The window technique for the
removal of broken femoral stems in total hip replacement
Clin. Orthop. 212:245-249, 1986

46. Neugebauer, J.: Vergleichende Festigkeitsuntersuchungen an Wirbelsäulenimplantaten. Messtechnische Briefe 17 Heft 3:74-82, 1981
47. Müller, M.E.: Total hip prostheses.
Clin. Orthop. 72:46, 1970
48. Ohlin, A., Kindblom, L-G.: The ultrastructure of the tissue surrounding the Christian total hip.
Acta Orthop. Scand. 59(6):629-634, 1988
49. Pazzaglia, U.E.: Fragmentation of methylmethacrylate: A cause of late failure of total hip replacement.
Arch. Orthop. Trauma. Surg. 109:49-52, 1989
50. Pazzaglia, U.E.: Pathology of the bone-cement interface in loosening of total hip replacement.
Arch. Orthop. Trauma. Surg. 109:83-88, 1990
51. Postel, M.: Replacement of hip prostheses
Orthopäde 18:382-387, 1989
52. Razzano, C.D.: Removal of methylmethacrylate in failed total hip arthroplasties. An improved technique.
Clin. Orthop. 126:181, 1977
53. Reich Maschinenfabrik GmbH: HOLZ HER Druckluftwerkzeuge
Produktinformation, 1988
54. Rubin, P.J., Leyvraz, P.F., Aubaniac, J.M., Argenson, J.N., Estève, P., de Roguin, B.: The morphology of the proximal femur.
J. Bone Joint Surg. Br. 74-B:28-32, 1992
55. Schenker Technik: Die Raspelmaschine AirHit 6
Produktinformation, 1988
56. Schmalzried, T.P., Maloney, W.J., Jasty, M., Kwong, L.M., Harris, W.H.:
Autopsy studies of the bone-cement interface in well-fixed cemented total hip arthroplasties
J. Arthroplasty: Apr.8(2):179-88, 1993
57. Schneider Druckluft GmbH: Schneider Druckluftmeißel Bedienungsanleitung, Reutlingen, 1989

58. Schurman,D.J., Maloney,W.J.: Segmental cement extraction at revision total hip arthroplasty
Clin. Orthop. Dec(285):158-63, 1992
59. Stühmer,K.-G.: Zur Technik der Zemententfernung bei Austauschoperationen von Gelenkendoprothesen.
Akt. Probl. Chir. Orthop. 31:227-233, 1987
60. Sugiyama,H., Whiteside,L.A., Kaiser,A.D.: Examination of rotational fixation of the femoral component in total hip arthroplasty.
Clin. Orthop. 249:122-128, 1989
61. Sydney,S.V., Mallory,T.: A safe method of cement removal from the femoral Canal.
Clin. Orthop. 253:168-172, 1990
62. Tektronix Corp.: Operating instructions 5100-Series oscilloscopes, 5A 18N & 5B 12N Moduls
Rev. B, Nov. 1977
63. Turner,R.H., Emerson,R.H.Jr.: Femoral revision total hip arthroplasty.
In Turner,R.H. and Scheller,A.D. (eds.): Revision total hip arthroplasty.
New York, Grune and Stratton: 75-104, 1982
64. Vidal,J., Boisard,J.L., Maury,Ph., Bensadoun,J.L.: Conservation du fourreau de ciment fémoral dans les réinterventions sur prothèses de hanche
Rev. Chir. Orthop. 74 Suppl.2:272-5, 1988
65. Weber,U.: Possibilities and limits of ultrasound manipulated removal of bone cement.
Akt. Probl. Chir. Orthop. 31:347-349, 1987
66. Welch,R.B., McGann,W.A., Floyd,T., Picetti,G.D.: Retrieval of fractured cemented femoral stems.
J. Bone Joint Surg. Am. 71(6):918-919, 1989
67. Whiteside,L.A., Amador,D., Russell,K.: The effect of the collar on total hip femoral component subsidence.
Clin. Orthop. 231:120, 1988
68. Whiteside,L.A., Easley,J.C.: The effect of collar and distal stem fixation on micromotion of the femoral stem in uncemented total hip arthroplasty.
Clin. Orthop. 239:145, 1989

69. Wroblewski,B.M.: A method of management of the fractured stem in total hip replacement.
Clin. Orthop. 141:71, 1979

70. Wroblewski,B.M.: Revision surgery in total hip arthroplasty: Surgical technique and results.
Clin. Orthop. 170:56, 1982

LEBENS LAUF

Ich, Martin Hermann Müller, wurde am 16. Juni 1960 als erstes von zwei Kindern der Eheleute und Christian Müller und Heidemarie Müller, geb. Dietz, in Bremerhaven geboren.

Mein Vater übt den Beruf eines Dipl. Mathematikers aus, meine Mutter ist als Hausfrau und Fotografin tätig.

Ich bin seit 1988 mit Gabriela Müller, geb. Gajewski, verheiratet und habe zwei Kinder.

1965-1969 Grundschulbesuch in Beverstedt und Hamburg Altona.

1969-1970 Gymnasium Neu-Altona.

1970-1972 Newland House School, London.

1972-1980 Gymnasium Stellingen bis zum Abitur 1980.

1980-1983 Studium der Physik, (Nebenfach Biologie und Informatik)
in Hamburg.

1983 Aufnahme des Studiums der Humanmedizin in Hamburg.
Staatsexamen Oktober 1990, Approbation 1992.

1990-1992 AiP, BG-Unfallkrankenhaus Hamburg.

1992-1995 Assistenzarzt der Chirurgie, Paracelsusklinik Glückstadt.

1995- Assistenzarzt der Unfallchirurgie, AK Harburg.

DANKSAGUNG

Ich danke Herrn Prof. Dr. Meiss für die praxisrelevante Fragestellung, seine große Geduld und für seine großzügige Hilfe bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Hartung von der Fa. Hottinger, Baldwin Meßtechnik bin ich sehr verpflichtet für die ausführliche Beratung und die Bereitstellung der Meßtechnik.