

Aus der Abteilung für
Gynäkologie und Geburtshilfe
des **Albertinen Krankenhauses Hamburg**
Leitender Arzt: Prof. Dr. med. M.H. Carstensen

**Ein neuer, selbstverriegelnder Gleitknoten
zur extrakorporalen Knotung in der
minimalinvasiven Chirurgie.
Experimentelle Untersuchungen zu
Haltekraft, Volumen und Knotensicherheit.
Einführung eines neuen Knotenschiebers**

Dissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereiches Humanmedizin in der
Medizinischen Hochschule Hamburg

vorgelegt von
Ingo von Leffern
aus Hamburg

Hamburg, 2001

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am : 2. November 2001

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Medizin der
Universität Hamburg

Dekan: Prof. Dr. C. Wagener

Referent : Prof. Dr. M. Carstensen

Korreferent : Prof. Dr. F. Jänicke

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
<u>1. Einleitung</u>	6
1.1 Einführung	6
1.2 Terminologie	10
1.3 Testmethoden	13
1.3.1 Schlinge oder Einzelfaden	13
1.3.2 Standardisierte Knotenlegekraft	14
1.3.3 Trockenes oder feuchtes Milieu	15
1.3.4 Vorspannung	16
1.4 Knotensicherheit	17
1.5 Entwicklung der Fragestellung	19
<u>2. Material und Methode</u>	20
2.1 Vorversuche	20
2.1.1 Vorversuche zu Knoteneigenschaften, provisorischer Versuchsaufbau	20
2.1.2 Vorversuche zu Knotenlegekräften	21
2.2 Fadenmaterial	22
2.3 Fertigung der Schlingen	22
2.3.1 Definierte Knotenlegekräfte	22
2.3.2 Zuziehen der Knoten am Gerät	24
2.3.3 Messung in blutigem Milieu	25
2.4 Zugkraftmessung	26
2.4.1 Maßeinheiten	26
2.4.2 Federwaage	26
2.4.3 Zugprüfgerät	26
2.4.4 Zugmethode	27

	Seite
2.5 Der „Schnelsener“ Knoten	27
2.5.1 Knotenarchitektur	27
2.5.2 Knüpftechnik	31
2.5.3 Besonderheiten beim Gebrauch	36
2.5.3.1 Zuziehen des Knotens	36
2.5.3.2 Konterknoten	36
2.5.3.3 Zusätzliche Haltekraft	37
2.5.3.4 Technik mit Nadelhalter	37
2.6 Der neue Knotenschieber	38
2.6.1 Probleme mit offenen Knotenschiebern	38
2.6.2 Beschreibung des neuen Knotenschiebers	38
2.6.3 Herstellung	40
2.7 Messung der Knotenmasse	41
2.8 Statistik	42
2.9 Methodenkritik	43
2.9.1 Messung der Knotenmasse	43
2.9.2 Knotenlegekraft	43
2.9.3 EDTA - Blut	43
2.9.4 Temperatur und Luftfeuchtigkeit	44
2.9.5 Industriell vorgefertigte Schlinge	44
2.9.6 Einfluß der Vorspannung	45
2.10 Multimediale Präsentation des Systems	45
<u>3. Ergebnisse</u>	46
3.1 Testreihe 1 mit Fadenmaterial Vicryl 0, blutig, am Gerät gezogen	47
3.2 Testreihe 2 mit Fadenmaterial PDS 2 - 0, trocken, am Gerät gezogen	50
3.3 Testreihe 3 mit Fadenmaterial PDS® 0, trocken, vorgelegte Schlingen	52
3.4 Testreihe 4 mit Fadenmaterial Vicryl® 0, trocken, vorgelegte Schlingen	55

	Seite
3.5 Testreihe 5 mit Fadenmaterial PDS® 2-0, blutig, am Gerät zugezogen	57
3.6 Die Masse der Knoten	60
<u>4. Diskussion</u>	61
4.1 Knotenarchitektur im Vergleich	61
4.2 Meßergebnisse im Vergleich	62
4.2.1 Testreihe 1	62
4.2.2 Testreihe 2	63
4.2.3 Testreihe 3	65
4.2.4 Testreihe 4	67
4.2.5 Testreihe 5	68
4.3 Knotenmasse im Vergleich	70
4.4 Praktikabilität der Knoten im Vergleich	71
4.5 Knotensicherheit im Vergleich	73
4.6 Einfluß von Milieu, Vorspannung und Fadenmaterial	76
4.7 Kostenanalyse	77
<u>5. Zusammenfassung</u>	80
<u>6. Literaturverzeichnis</u>	82
<u>7. Danksagung</u>	87
<u>8. Lebenslauf</u>	88
<u>9. Anhang</u>	89

1 Einleitung

1.1 Einführung

Ziel der Entwicklung minimal invasiver Operationstechniken ist es, Bewährtes der offen chirurgischen Techniken zu imitieren und so praktikabel wie möglich in die minimal invasiven Techniken einzubinden. Nur so ist gewährleistet, daß der hohe operative Standard, der sich über einen langen Zeitraum entwickelt hat, erhalten bleibt.

Knotungen bei Umstechungen oder Ligaturen anatomischer Strukturen sind bisher auf verschiedenste Weise für die minimalinvasive Chirurgie entwickelt worden. Allein das mag als Indiz gelten, daß eine Imitation des mit der Hand geknüpften Knotens bisher nicht zufriedenstellend erreicht wurde. Insbesondere dann nicht, wenn die zu vereinigenden Strukturen unter Spannung stehen, wie es z.B. bei der Uterusnaht nach Myomenukleationen oder bei der Kolposuspension der Fall ist. Hierfür eignen sich intrakorporale, instrumentelle Knotungen nicht, weil sie eine Spannung nicht halten können. Auch für die spannungsärmeren Knoten bei Gefäßligaturen sind intrakorporale Knotungen nicht geeignet, da sie nicht sicher genug halten. Die intrakorporale Knotung erfordert ein erhöhtes Maß an operativem Geschick und Training, weil die Techniken im zweidimensionalen Raum der Videolaparoskopie schwierig auszuführen sind. Deshalb gibt es in der Literatur eine Reihe von Zusatzinstrumenten und Verfahren, die dieses Problem verringern sollen (Pennings J.L.,et al. 1995 ; Miller S.S. 1996 ; Gaur D.D. 1998).

Um das mühevoll extrakorporale Knoten überhaupt zu vermeiden, ist in den letzten Jahren eine große Anzahl von Neuentwicklungen und Erfindungen in die minimal invasive Chirurgie eingeflossen. Zur Veranschaulichung seien hier einige Instrumente und Techniken und ihre spezifischen Nachteile genannt:

Die monopolare oder bipolare *Koagulation mit Hochfrequenzstrom* eignet sich zweifelsfrei für den Verschluss von Gefäßen. Es wird jedoch eine Hitzeentwicklung von mehr als 300 °C hervorgerufen, deren Ausbreitung im Gewebe während der monopolareren Koagulation unkontrolliert erfolgt und auch bei der bipolaren

Koagulation ist die Hitzefortleitung auf empfindliche Strukturen nicht ganz vermeidbar (Kretschmer et al., 1999) und damit nicht unproblematisch. Sehr störend bei diesen Verfahren ist auch die Rauchentwicklung, die zu erheblichen Verzögerungen bei der Operation führen kann, da die Sicht beeinträchtigt wird. Außerdem lassen sich zwar Gefäße koagulieren aber eine Naht, das heißt ein Aneinanderfügen von Strukturen ist damit natürlich nicht möglich.

Die Rauchentwicklung ist bei dem Verfahren mit *Ultracision* (Koagulation und Trennung des Gewebes mit Ultraschall, Firma Ethicon) nur minimal, die Geräte sind jedoch in Anschaffung und im Betrieb durch Einweginstrumente sehr kostenintensiv. Selbstverständlich läßt sich auch mit diesem Verfahren nicht nähen !

Bei der *Lahodny-Naht* werden die Knoten durch resorbierbare Klips an beiden Fadenenden ersetzt. Diese Technik ermöglicht ein Vereinigen von Strukturen unter Spannung, erfordert aber ein zusätzliches Instrument (Klipzange). Die Naht ist nur in definierter Stärke und Länge erhältlich und die dazugehörige Nadel ist ebenfalls nur in sehr wenigen Versionen und Stärken zu erhalten. Zudem bilden die Klips ein voluminöses Fremdkörpermaterial für oft nur sehr kleine Nähte, die man mit dieser Methode legen kann. Eine Unterbindung von Gefäßen oder andere Ligaturen sind mit dieser Technik nicht möglich.

Einer der wesentlichen Vorteile der *gaslosen Laparoskopie* ist nach Bojahr , daß sie die Möglichkeit bietet, Nähte konventionell zu legen und mit dem Finger zu knoten. Dies garantiert einen „suffizienten Wundverschluß, der besonders bei Myomenukleationen bei Patientinnen mit potentielltem Kinderwunsch von Bedeutung ist“ (Bojahr 1999).

Die gaslose Laparoskopie erlaubt jedoch nicht in allen Fällen ein Knüpfen mit dem Finger. Hier ist die Lokalisation der Trokareinstiche in Bezug zum Ort der Naht oder Ligatur entscheidend. Außerdem ist die gaslose Laparoskopie nicht universell einsetzbar.

Es ist also in jedem Fall nötig, über eine weitere Technik zu verfügen, die universell einsetzbar ist.

Für eine Reihe von Problemen gibt es Einzellösungen, wie z.B. der *Hernien - Tacker* (Fa. Braun-Dexon), mit dem spiralförmige Titan – Tacks zur Fixation von Netzen in das Gewebe geschraubt werden oder der Einsatz von *Tacks und Prolene – Mash* zum Ersatz der Nähte bei der laparoskopischen Kolposuspension nach Burch oder Coban.

Industriell *vorgefertigte Schlingen*, wie sie in verschiedenen Fadenmaterialien und Stärken zu erhalten sind, sind entweder mit dem *Roeder-Knoten* (Fa. Wisap) oder mit dem *Melzer-Bueß-Knoten* (Fa. Ethicon) ausgestattet. Sie sind bereits mit einem komfortablen Knotenschiebersystem zum Einmalgebrauch versehen. Nachteil der Schlingen ist zum einen der Preis, zum anderen lassen sie sich nur sehr begrenzt zum Unterbinden von Gefäßen verwenden. Umstechungen oder gar Vereinigungen von Gewebe durch Naht lassen sich hiermit nicht durchführen. Es kommt nicht selten vor, daß cystische Ovarialtumore zu groß sind, nicht durch die Schlinge passen und somit nicht über eine derartige Schlinge abgesetzt werden können.

Als Ersatz für das konventionelle Knoten mit der Hand sind für die minimal invasive Chirurgie diverse Knotentechniken entwickelt worden. Auch gibt es für das Herunterschieben von Gleitknoten, die vor der Bauchdecke gelegt werden (siehe Abb.1), eine Reihe von Knotenschiebern. Diese Systeme setzen sich aber nicht durch, da sie zu kompliziert und nicht komfortabel genug sind.

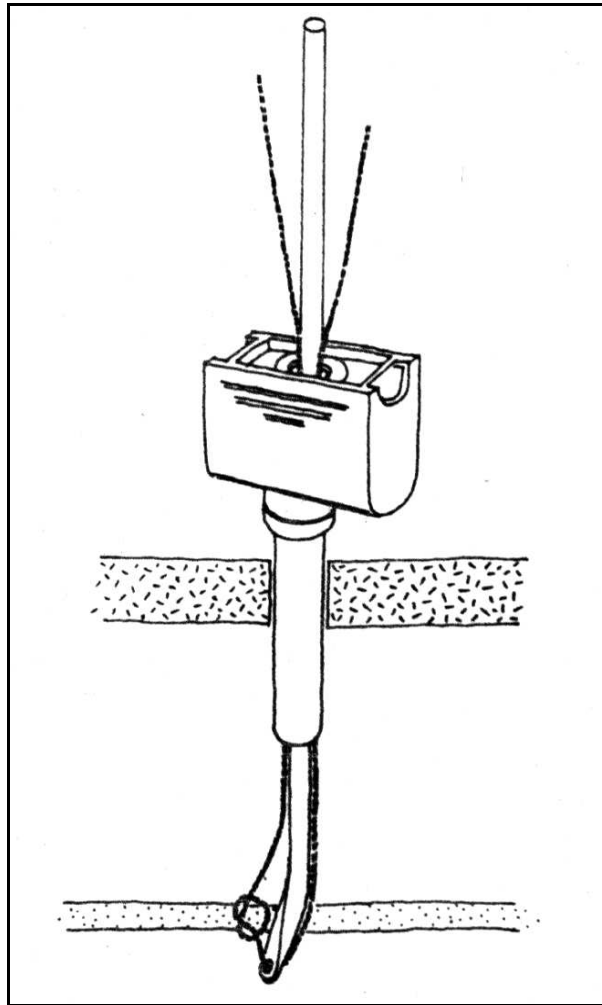


Abb. 1 Einsatz extrakorporaler Knotung bei der Laparoskopie
(Grafik aus: Szold A. 1997)

Bei der Entwicklung eines neuen Systems aus einem einfachen aber effektiven Gleitknoten und einem ebenso einfachen wie praktischen Knotenschieber, war der *Weston-Knoten* hilfreich. Der neue Knoten läßt sich ähnlich leicht legen, hat aber andere Gleiteigenschaften als der *Weston-Knoten* auf Grund seiner ganz anderen Knotenarchitektur.

Im Weiteren wird dieser neue Knoten „**Schnelseiner**“ *Knoten* genannt.

1.2 Terminologie

Prinzipiell unterscheidet man Knoten die an einem der Fäden herunter gleiten können von solchen, die dieses nicht ermöglichen. Erstere werden im deutschen Sprachraum als „Gleitknoten“ und im englischen Sprachraum als „slip knots“ bezeichnet. Bei ihnen gibt es einen zentralen Achsenstrang der den Knoten durchzieht.

Knoten, die nicht gleiten, bezeichnet man im Englischen als „flat knots“. Bei ihnen verlassen die beiden Stränge den Knoten parallel zueinander. Im Deutschen gibt es keine allgemeine Bezeichnung dafür. Man könnte in Anlehnung an den englischen Ausdruck von einem „ebenen Knoten“ sprechen.

Eine Umschlingung der Fäden wird auch als „Schlag“ oder „halber Schlag“ und im Englischen als „throw“ bzw. als „half hitch“ bezeichnet. Ein üblicher Knoten besteht aus zwei oder drei Schlägen die gleichläufig oder gegenläufig geknüpft werden können. Dabei kann jeder Schlag aus ein oder mehreren „Umdrehungen“ oder „Touren“ (engl. „turns“) bestehen.

Der sog. „Schifferknoten“, der in der Chirurgie häufig Verwendung findet, besteht aus zwei *gegenläufigen* Schlägen. Er wird im angloamerikanischen Sprachraum „square knot“ genannt.

Der bei uns als „Weiberknoten“ bezeichnete Knoten mit zwei *gleichläufigen* Schlägen heißt in der englischen Literatur „granny knot“ (Großmutterknoten). Der *chirurgische* Knoten enthält z.B. im ersten Schlag zwei Umdrehungen, im zweiten, gegenläufigen Schlag nur noch eine Umdrehung.

Im Englischen würde man diesen Knoten als einen square knot mit zwei turns im 1. throw und einem turn im zweiten throw beschreiben.

Auch bei den Gleitknoten gibt es gleichläufige oder gegenläufige Schläge. Ein Gleitknoten kann sich also von einem square knot oder einem granny knot ableiten. In Abbildung 2 sind links ein Schifferknoten mit seinem korrespondierenden Gleitknoten und rechts das dazugehörige Knotenpaar mit gleichläufiger Knotung dargestellt.

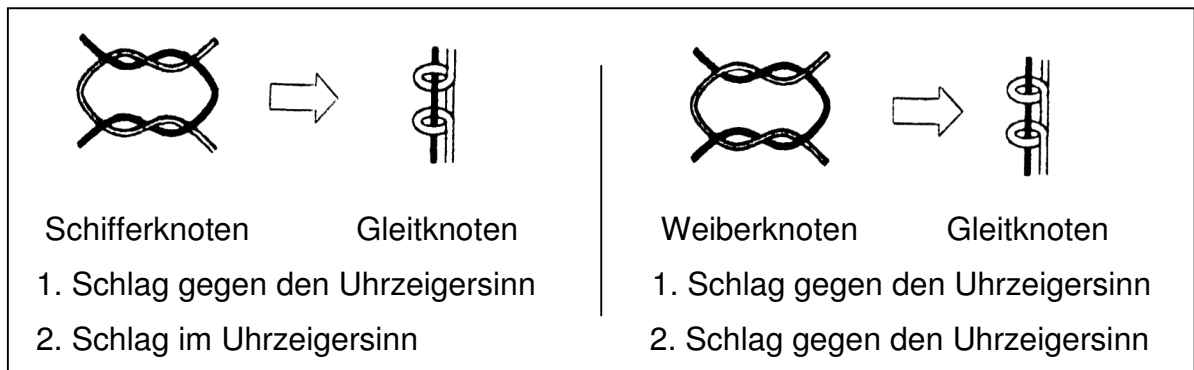


Abb.2 Ableitung ebener Knoten in Gleitknoten (aus: Dinsmore 1995)

Tera und Aberg haben eine Nomenklatur zur Beschreibung von ebenen Knoten beschrieben, die die umständliche Beschreibung mit Worten standardisieren und vereinfachen konnte (Tera und Aberg, 1976).

Unabhängig hiervon entwickelte Trimbos eine sehr ähnliche Nomenklatur für Gleitknoten (Trimbos, 1984).

Leider sind die beiden Nomenklaturen in einem wesentlichem Punkt diskordant. Während Tera einen *gleichläufigen*, ebenen Knoten mit 2 Schlägen und jeweils einer Tour mit dem Kürzel „1 X 1“ beschreibt, verwendet Trimbos das Zeichen „X“ für eine *gegenläufige* Knotung bei Gleitknoten. Einen Gleitknoten wie in Abbildung 2 linke Spalte würde Trimbos mit dem Kürzel „S = S“ beschreiben. Tera hingegen verwendet das Gleichheitszeichen für gegenläufige Knoten, weil der ursprünglich links gelegene Fadenstrang nach dem Knoten auch wieder links zu liegen kommt.

Dinsmore ist daran gelegen, möglichst alle Knoten einheitlich darstellen zu können und empfiehlt das Gleichheitszeichen für die Kodierung *gleichläufiger* Knoten zu verwenden (Dinsmore 1995). Ein chirurgischer Knoten, wie oben beschrieben, würde also mit dem Kürzel „2 X 1“ kodiert werden. Gleitknoten bei denen um den axialen Strang zwei gleichläufige Schläge gefolgt von einem gegenläufigen Schlag gelegt werden, kodiert man entsprechend mit „S = S X S“ .

Dinsmore unterscheidet bei den Gleitknoten nun auch noch *simple* und *komplexe Knoten*, bei denen der axiale Strang wechselt. Das heißt, daß zuerst um den einen Strang herum der Schlag gelegt wird und danach um den anderen. Laufen diese Umschlingungen gleichläufig zu dem direkt davor gelegenen Schlag so wird das

Zeichen „//“ verwendet. Liegen die Schläge beim Wechsel des axialen Stranges gegenläufig verwendet man das „#“ Zeichen.

Diese von Dinsmore „alternierende Gleitknoten“ genannten Knoten unterscheiden sich jedoch wesentlich von den Knoten, die man komplett geknotet an dem axialen Strang herunterschieben kann. Dies geht bei den alternierenden Gleitknoten nicht mehr, weil es keinen definierten axialen Strang gibt. Die Knoten werden auf das Objekt geknotet, indem ein Strang straff gehalten wird, an dem dann der Schlag gelegt und heruntergeschoben wird. Nach ein oder zwei Schlägen wird dann der straff gehaltene Strang gewechselt.

Die Beschreibung der komplexen „echten“ Gleitknoten, wie sie von Melzer-Bueß, Roeder oder Weston für die minimalinvasive Chirurgie entwickelt wurden, gelingt mit der o.a. Nomenklatur nur sehr unzureichend, weil es an Kürzeln für Touren um *beide* Stränge genauso fehlt wie an Beschreibungsmöglichkeit von „Umschlingungen der Umschlingung“.

Da es nur eine sehr kleine Zahl von standardisierten Untersuchungen über Knotenkräfte und Knotenarchitektur gibt und die „neueren“ Knoten noch seltener untersucht wurden, gibt es keine Nomenklatur, die diese Art Knoten beschreibt. Sie werden im angloamerikanischen Schrifttum lediglich "laparoskopie slipknots" genannt.

Allgemein ist die Nomenklatur der Knoten unter den operativ tätigen Ärzten nicht gut bekannt.

Trimbos befragte namhafte Chirurgen, ob sie Gleitknoten oder Schifferknoten verwendeten und stellte fest, daß 80% der Kollegen glaubten, sie würden Schifferknoten verwenden. In Wirklichkeit verwendeten sie aber Gleitknoten!

Haxton konstatierte schon 1965 : “Die Auswahl von Methoden und Material für Nähte ist normalerweise eine Angelegenheit von Gewohnheit, Raterei und Tradition.“ (Haxton, 1965)

1.3 Testmethoden

1.3.1 Schlinge oder Einzelfaden

Im Wesentlichen haben sich zwei Methoden durchgesetzt, mit denen die Haltbarkeit von Knoten gemessen wird.

Herrmann führte die Schlingenmethode 1971 ein (Herrmann, 1971). Hierbei wird die Naht mit dem zu messenden Knoten um einen Zylinder gelegt. Die geknüpfte Schlinge wird dann heruntergezogen und in das Zugmessgerät zwischen zwei Winkelstücken eingespannt (siehe Abb. 3a).

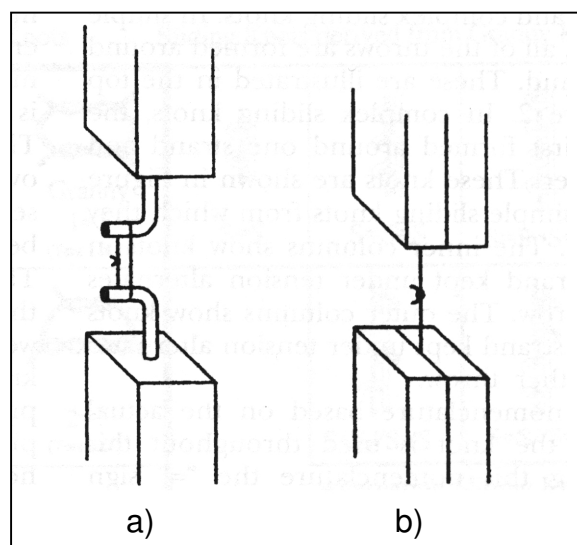


Abb. 3 Zugmethoden

Holmlund beschrieb die Einzelstrangmethode (Holmlund, 1974), bei der die Schlinge wie oben beschrieben um einen Zylinder gefertigt wird, dann aber aufgeschnitten wird und die beiden Schlingenenenden in das Zugmessgerät eingespannt werden (siehe Abb. 3b). Diese Methode hat den Vorteil, daß die Knotenhaltekräfte direkter gemessen werden, während sich bei der Schlingenmethode die Zugkraft auf die beiden Schenkel der Schlinge verteilt und hier auch noch mit Reibungsverlusten gerechnet werden muß. Die Knotenhaltekräfte sind bei der Schlingenmethode nur fast halb so groß wie bei der Einzelstrangmethode.

Die Schlingenmethode ist dennoch das am häufigsten verwendete Verfahren (Dinsmore 1995), da die in vivo – Bedingungen hierdurch besser abgebildet werden und das Einspannen in die Messapparatur keine solche Manipulation am Knoten erfordert.

Dieses entspricht auch den eigenen Erfahrungen. Insbesondere die Knoten von kräftigen, monofilen Näden springen bei Manipulationen leicht auf, das heißt, sie lockern sich und ergeben dann unter Umständen falsche Meßergebnisse.

Die Geschwindigkeit, mit der die Schlinge oder der Faden gezogen wird, hat keinen Einfluß auf die Knotenhaltekräfte (Dinsmore, 1995).

1.3.2 standardisierte Knotenlegekraft

Shimi benutzt in seiner Studie eine spezielle Apparatur, mit der die Knoten durch Verwendung von 250 g Gewichten, die jeweils drei Minuten auf die Knotenenden Zug ausübten, definiert zugezogen wurden (Shimi et al. 1994). Diese Arbeit berücksichtigt als einzige aus der zur Verfügung stehenden Literatur den Vorteil und die Notwendigkeit, die Kraft, mit der der Knoten geknüpft wird, in die Meßmethode einzubeziehen.

Zwar weist auch Dinsmore darauf hin, daß die Knotenlegekraft zum besseren Vergleich zumindest angegeben werden sollte, aber weder er selbst noch andere Autoren, haben diese Kräfte gemessen. Dinsmore schreibt sogar, daß es ihn sehr interessieren würde, mit welcher Kraft verschiedene Operateure im Durchschnitt die Knoten anziehen (Dinsmore, 1995).

Es ist anzunehmen, daß ein stärker zugezogener Knoten eine höhere Reibung erzeugt, daher schlechter gleitet und auch schlechter zurück gleitet, was die Knotenhaltekraft erhöht. Diese Annahme ist aber nicht überprüft.

Daher wird in Voruntersuchungen diesbezüglich eine Messung durchgeführt, welche die oben beschriebene Behauptung untersucht. Siehe hierzu Kapitel 2.1.2 und Abb. 6 (Seite 21).

1.3.3 Trockenes oder feuchtes Milieu

Von einigen Autoren (Herrmann 1973; van Rijssel 1990; Gupta 1985) wird der Erkenntnis Rechnung getragen, daß ein Knoten, der in einer feuchten Wunde geknüpft wird, andere Gleiteigenschaften hat als ein trockener Knoten. Sie untersuchten den Einfluß einer Benetzung des Fadenmaterials mit Serum und fanden keinen signifikanten Unterschied. Dabei wurde das Nahtmaterial aber mehrere Stunden bis Tage in Serum eingelegt und es war nicht ganz auszuschließen, daß das Serum vor den Zugversuchen am Knoten teilweise getrocknet war, was ja bekanntlich einen Klebeeffekt hat.

Lediglich in der Untersuchung von Kadiramanathan et al. (Kadiramanathan et al. 1996) herrschten echte in vivo Bedingungen. Diese Arbeitsgruppe knotete die Fäden in der Leibeshöhle frisch verstorbener Menschen. Dabei wurden zwei Stahlringe an ein Stück Muskelgewebe geknotet. An den Stahlringen wurde dann der Knoten mit dem Tensiometer auseinandergezogen. Auf diese Weise ist der Knoten unter in vivo Bedingungen gelegt und auch gezogen worden.

Hierzu gibt es aber leider keine Vergleichsuntersuchung der gleichen Arbeitsgruppe mit trocken geknüpften Knoten.

Theoretisch überzeugt dieser Versuchsaufbau. Praktisch ist er nicht gut reproduzierbar weil es schwer sein dürfte, immer zum richtigen Zeitpunkt frische Leichname zu erhalten.

Praktikabler wäre dann doch, das Fadenmaterial mit Blut zu benetzen und den Knoten so frisch benetzt zuzuziehen und sofort zu testen.

Da auch unter normalen Operationsbedingungen das mit Serum und Blut benetzte Fadenmaterial der Luft und damit kurzzeitig der Trocknung ausgesetzt ist, werden mit dieser Methode wohl auch annähernd physiologische Verhältnisse simuliert.

Zu klären ist also die Frage, ob das Milieu einen Einfluß auf die Gleiteigenschaften eines Knotens hat und ob dieser Einfluß bei verschiedenen Fadenmaterialien unterschiedlich ist. Diese Frage ist aus der zur Verfügung stehenden Literatur nicht zu beantworten.

1.3.4 Vorspannung

Wird ein Schlinge, wie oben beschrieben, an einem Zylinder gelegt und der Knoten bei diesem Vorgang mit einer definierten Spannung angezogen, so bleiben die Spannung und damit auch die Reibungswiderstände im Knoten selbst bestehen, sofern der Knoten nicht zurück gleitet.

Nimmt man die Schlinge von dem Zylinder herunter, um sie in die Messapparatur einzuspannen, fällt die Spannung sofort vom Knoten ab.

Das führt unter Umständen dazu, daß sich ein Knoten lockert. Insbesondere ist das bei einem glatten (monofilen) und starren Fadenmaterial zu erwarten.

Sichtet man zu dieser Problematik die Literatur, so stellt man fest, daß Versuchsaufbauten mit definierter Knotenlegekraft nur in der Arbeit von Shimi et al. vorkommen, aber auch hier wurde zur Messung die Schlinge ohne Spannung gemessen und somit die Vorspannung aus dem Knoten genommen (Shimi et al. 1994).

In der Arbeitsgruppe von Shimi wurden die Fäden um einen Zylinder gelegt und dann geknotet. Beide freien Fadenenden wurden dann mit Klemmen an 250 g schweren Gewichten fixiert und so der Knoten mit definierter Kraft über eine vorgegebene Zeit von drei Minuten zugezogen.

Anschließend wurde die so gefertigte Schlinge jedoch vom Zylinder abgezogen, aufgeschnitten und die einzelnen Fadenenden wie oben beschrieben in die Meßapparatur gespannt.

Obwohl dieser Versuchsaufbau durch die definierten Knotenlegekräfte schon reproduzierbarer ist und sich somit auch Ergebnisse vergleichen ließen, muß kritisiert werden, daß bei der „Einzelstrangmethode“ vermehrt an dem fertigen Knoten manipuliert werden muß, was dazu führen kann, daß dieser sich lockert. Wohl um dieses zu vermeiden, sind die Knoten über eine Dauer von *drei Minuten* (!) zugezogen worden. Dabei hat insbesondere monofiles Nahtmaterial die Möglichkeit sich zu verformen und die Elastizität soweit einzubüßen, daß die Knoten nicht mehr so leicht aufspringen.

Ein derartiger Versuchsaufbau ist aber ausgesprochen unnatürlich, denn kein Operateur würde einen Knoten drei Minuten lang zuziehen!

Es stellt sich die Frage, ob die Vorspannung relevant für die Untersuchungsergebnisse ist und mit welchem Versuchsaufbau am besten eine in vivo Situation nachgestellt werden kann.

1.4 Knotensicherheit

Sedlack (Sedlack J.D, et al.1996) verglich laparoskopisch gelegte intra- und extrakorporale Knoten mit offen gelegten Knoten verschiedener Fadenmaterialien. Dabei verwendete er jeweils nur die Fadenstärke 2-0. Gemessen wurde die Kraft (in Kilogramm) die benötigt wurde, Fäden, die mit dem jeweiligen Knoten zusammengeknüpft waren, durch Zug an den Fadenenden zu trennen, bis entweder der Knoten anfang zu gleiten oder bis der Faden riß. Gemessen wurde die maximale Kraft, der der Knoten widerstand mit einem manuellen, digitalen Tensiometer. Die Kraft, mit der die jeweiligen Knoten angezogen wurden, wurde in dieser Arbeit nicht standardisiert. Die Knoten wurden von verschiedenen, erfahrenen Chirurgen geknüpft und entweder drei (bei geflochtenen Fäden) oder 7 Schläge (bei monofilem Material) übereinander gelegt. Als Gleitknoten wurde der *Roeder-Knoten* und der *Fisherman´s-Knoten* untersucht.

Die Ergebnisse zeigten, daß eine *extrakorporale* Knotung mit nicht gleitenden Knoten genau so sicher ist, wie die offene Knotung mit einer Hand oder beiden Händen. Die gleichen Knoten *intrakorporal* gelegt waren bei Seide und monofilem Polytetraflouroethylen signifikant unsicherer.

Die beiden Gleitknoten waren, wie zu erwarten war, signifikant unsicherer als die Knoten, die nicht für ein Gleiten konzipiert waren. Im Schnitt lagen die Haltekräfte des *Roeder-Knotens* etwa bei einem Viertel der Knoten, die mit drei bis sieben Schlägen gegenläufig geknüpft wurden.

J.B. Trimbos konnte 1984 in seiner Arbeit über die Sicherheit verschiedener, üblicherweise in der Chirurgie benutzter Knoten ebenfalls feststellen, daß „square knots“ sicherer sind als „sliding knots“ (Trimbos 1984). Von 12 untersuchten Knoten waren fünf Gleitknoten und vier Schifferknoten. Die übrigen drei Knoten waren chirurgische Knoten, das heißt Knoten, die durch zusätzliche Umdrehungen

verstärkt waren. In dieser Untersuchung wurden von 25 verschiedenen, erfahrenen Gynäkologen diese 12 verschiedenen Knoten geknüpft. Es wurden zwei verschiedene Fadenmaterialien verwendet. Zum einen verwendete man einen unbeschichteten Polyglykolsäurefaden (Dexon-S ®) und zum anderen einen beschichteten Faden aus Polyglactin-910 (Vicry ®). Die Ergebnisse zeigten, daß die Beschichtung der Fäden, aber auch ein einfaches Anfeuchten der Fäden den Reibungskoeffizienten und damit die Knotensicherheit herabsetzte. Das Durchrutschen des Knotens wurde als Versager gezählt, wenn der Knoten mehr als 2 mm durchrutschte. Dieses Phänomen wurde signifikant häufiger bei den beschichteten Fäden beobachtet ($\chi^2 = 46,9$).

Die Standardabweichung der Haltekraft des Knotens wurde als Maß für die Beständigkeit gewertet, mit der eine gute Haltekraft erreicht werden konnte. Gleitknoten insbesondere mit beschichtetem Material gelegt, hatten dabei die höchsten Standardabweichungen.

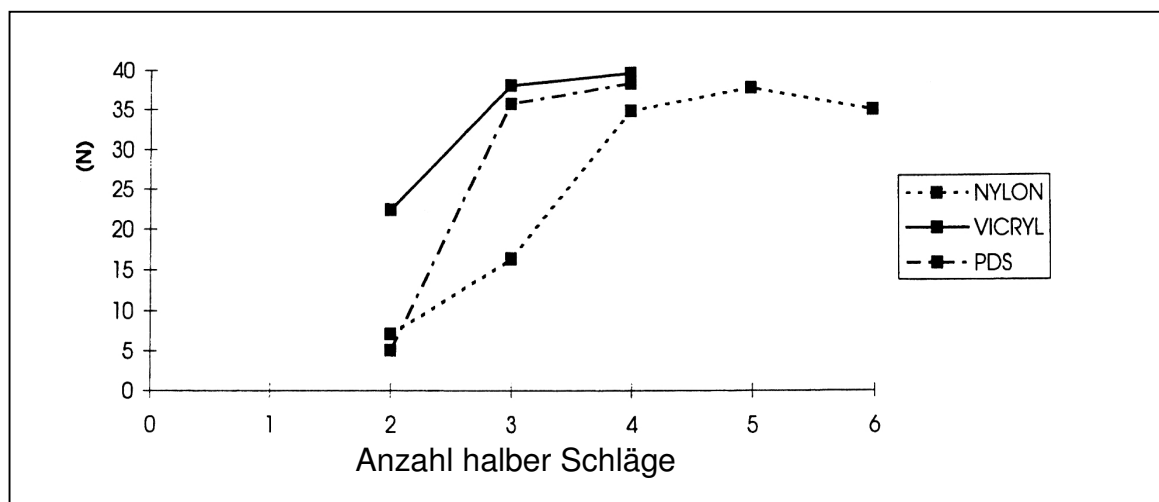


Abb.4 Abhängigkeit der Knotenkraft von der Anzahl handgeknüpfter halber Schläge. (aus Kadiramanathan et al. 1996)

Nach Kadiramanathan et al. (Kadiramanathan et al. 1996) sind mindestens drei halbe Schläge bei ebenen Knoten notwendig, um die volle Knotenfestigkeit zu erreichen .

Für Nylon werden vier halbe Schläge empfohlen, da erst ab dem vierten Knoten die Knotenkraft nicht mehr zunimmt.

1.5 Entwicklung der Fragestellung

Da sich die minimalinvasive Chirurgie rasch entwickelt und zunehmend konventionelle Operationsverfahren durch MIC - Eingriffe ersetzt werden, besteht ein großer Bedarf an einem komfortablen, extrakorporal zu knüpfendem Knoten. Die vorhandenen Knoten haben erhebliche Nachteile insbesondere durch ihre komplizierte Anwendung, aber auch im Bereich der Knotensicherheit. Es soll ein neuer Gleitknoten zur extrakorporalen Knotung entwickelt werden, der wesentlich einfacher in der Anwendung ist, als der *Melzer-Bueß-* und der *Roeder-Knoten*, der aber ebenso sicher ist. Er soll auch in der Lage sein, Gewebe unter hoher Spannung zu vereinigen. Er muß mehr Haltekraft besitzen als der Weston Knoten, sich aber ähnlich leicht legen lassen.

Es sollen folgende Fragen geklärt werden:

- 1) Wie ist die Haltekraft des neuen Knotens im Vergleich mit bisher gebräuchlichen Gleitknoten ?
- 2) Welchen Einfluß hat das Fadenmaterial und die Fadenstärke auf die Haltekräfte ?
- 3) Welchen Einfluß hat das äußere Milieu auf die Knotenkräfte ?
- 4) Unterscheiden sich die verschiedenen Knoten in ihrer Masse ?
- 5) Wie unterscheidet sich der neue Knoten in Bezug auf Handhabung und Sicherheit von den herkömmlichen Knoten ?
- 6) Gibt es einen einfach zu handhabenden Knotenschieber, mit dem extrakorporal geknüpfte Knoten sicher und präzise gelegt werden können ?

Hierzu wird ein eigener Knotenschieber entwickelt, der sich für die extrakorporale Knotung unter schwierigen Bedingungen besonders gut eignet.

Es soll somit ein universelles, kostengünstiges, schnelles und komfortables System entstehen, welches vollkommen auf Einweginstrumente verzichtet und sich für alle Materialien, Nähte, Ligaturen, Umstechungen etc. eignet.

Es wird untersucht, mit welcher Testmethode die Haltekraft am besten zu messen ist und mit welcher Testmethode die in vivo Bedingungen am besten wiederzugeben sind.

Die Knotenarchitektur wird analysiert und mit bekannten Knoten verglichen .

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsaufbau der Vorversuche:

2.1.1 Vorversuche zu Knoteneigenschaften, provisorischer Versuchsaufbau

Während der Vorversuche, bei denen noch kein professionelles Prüfgerät zu Verfügung stand, wurden die verschiedenen Knotenkräfte an einem starken Gummiband geprüft, indem die Strecke gemessen wurde, welche sich das Gummiband mit Hilfe einer Schlinge dehnen ließ, die mit dem Prüfknoten zugezogen wurde (Abb.5). Dabei entstand bei zunehmender Dehnung des Gummibandes eine Kraft, welche den Knoten zurück gleiten ließ. Die Kraft, welcher der jeweilige Knoten widerstand, konnte an der Dehnung des Gummibandes abgelesen werden. Um Reibungsverluste zwischen Faden und Gummiband auszugleichen, wurde bei diesen Versuchen eine Umlenkrolle zwischengeschaltet.

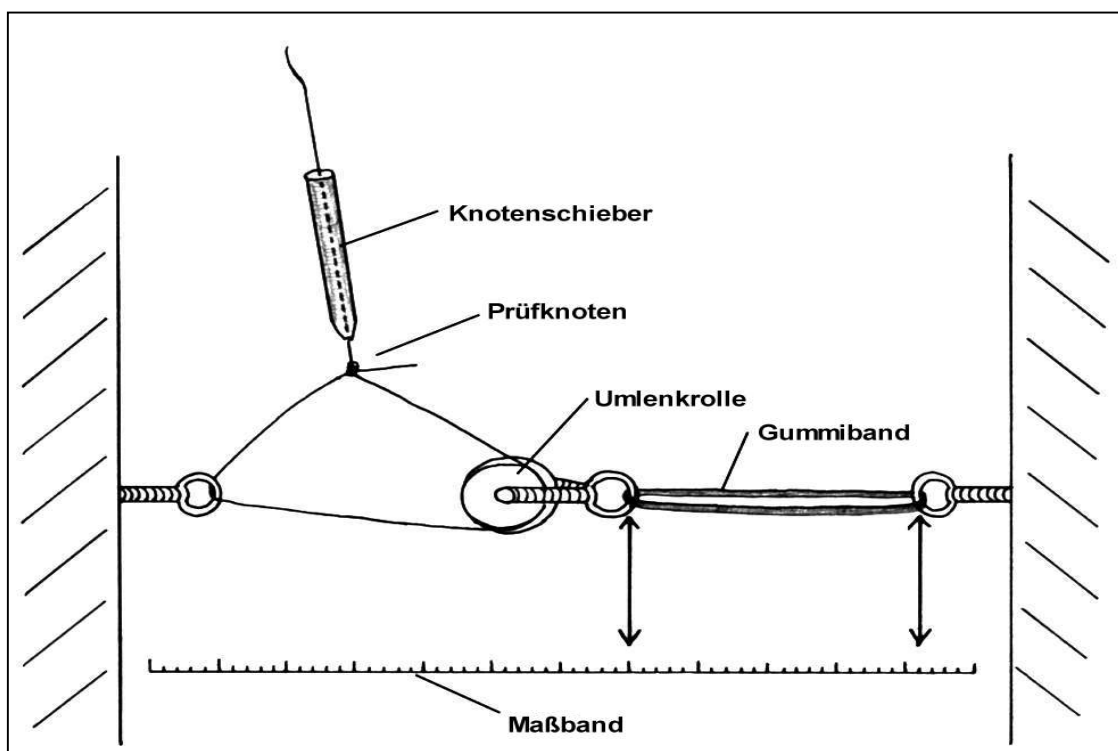


Abb. 5 Versuchsaufbau der Vorversuche

Mit diesem Versuchsaufbau war es möglich, verschiedene neue Knotungen auszuprobieren, bis der Knoten gefunden war, der die gewünschten Eigenschaften hatte.

2.1.2 Vorversuche zu Knotenlegekräften

In Vorversuchen wurde der Einfluß der Kräfte, mit denen die Knoten zugezogen werden, auf die Haltekräfte der Knoten ermittelt. Verwendet wurde hierfür der „Schnelsener“ Knoten, als Nahtmaterial diente PDS 2-0 (ein monofiler Faden). Die Knoten wurden um einen Stahlzylinder gelegt und die Knotenlegekraft beim Zuziehen der Knoten mit Hilfe einer Federwaage, die mit einer kleinen Schraubklemme am freien Fadenende befestigt wurde, gemessen. Abbildung 6 zeigt den gleichen Knoten, der mit drei verschiedenen Kräften zugezogen wurde. Man sieht, daß der Knoten, der mit 1,5 kp zugezogen wurde einen weitaus höheren Widerstand gegen das Auseinanderziehen der Schlinge aufbringt, als beispielsweise der Knoten, der mit nur 0,5 kp zugezogen wurde.

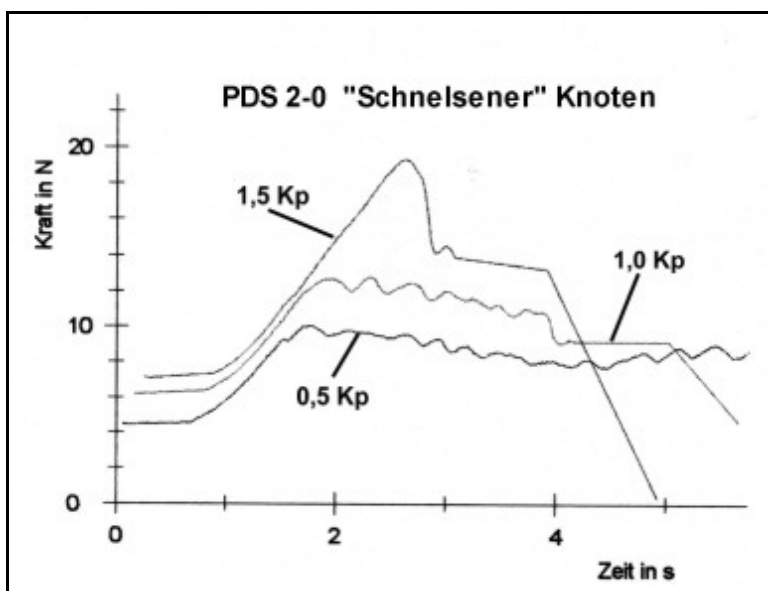


Abb. 6 Knotenhaltekräfte in Abhängigkeit zu den Knotenlegekräften

2.2 Fadenmaterial

Geprüft wurde nur resorbierbares Fadenmaterial, da nicht resorbierbares Material in der Laparoskopie nur sehr selten zum Einsatz kommt. Die Fadenstärke wird angegeben in USP - Größen. USP ist die Maßeinheit des amtlichen Arzneibuches der USA (United States Pharmacopeia).

Es wurden die Stärke 0 von Polyglactin-910 (Vicryl® Firma Ethicon Ltd.) und die Stärken 2-0 und 0 von Polydioxone (PDS II® Firma Ethicon Ltd.)

verwendet. Des Weiteren wurde die industriell vorgefertigten Endoloops mit PDS II® 2-0 (Firma Ethicon Ltd.) verwendet. Diese mit dem *Melzer-Bueß-Knoten* versehenen Schlingen werden in Serie gefertigt und in Handarbeit hergestellt.

Vicryl® ist ein geflochtener, resorbierbarer Faden, der aus dem Glycolid-Lactid-Copolymer Polyglactin 910 besteht.

Das verwendete Nahtmaterial wurde von der Firma Ethicon zur Verfügung gestellt. Es war handelsüblich und gebrauchsfertig verpackt und sterilisiert.

2.3 Fertigung der Schlingen

Das Fadenmaterial wurde um einen Stahlzylinder geschlungen und dann der jeweilige Knoten nach der Beschreibung aus dem Handbuch "Endoskopische Naht- und Knüpftechniken" (Wattiez, A. und Bruhat, M.A. 1998) gelegt. Der Zylinder hatte einen Durchmesser von 2 cm . Der Kreisumfang der fertigen Schlingen betrug demnach 6,28 cm. Siehe hierzu Abbildung 7. Der Stahlzylinder wurde, auch um eine ausreichende Standfestigkeit zu erhalten, von einer auf einem Holzbrett montierten Schraubzwinde gehalten.

2.3.1 Definierte Knotenlegekräfte

Die Knotenlegekraft ist abhängig von der Kraft, mit der der Knoten mit dem Knotenschieber auf den Zylinder geschoben wird. Die Festigkeit des Knotens hängt aber auch davon ab, wie stramm der Knoten geknüpft (zugezogen) wird, *bevor* er heruntergeschoben wird (siehe Abb. 6 Kap. 2.1.2).

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, ist es somit unbedingt notwendig, *beide* Kräfte zu standardisieren.

Der Knoten wurde deshalb erst gelegt und dann am freien Fadenende mit definierter Spannung mit Hilfe einer Federwaage zugezogen. Die Spannung betrug in allen Fällen 0,5 kp. Diese Spannung erschien nach den Vorversuchen angemessen und praktikabel.

Anschließend wurde die Federwaage am zentralen Strang des Knotens befestigt, nachdem der Knotenschieber eingefädelt war. Jetzt wurde der Knoten mit dem Knotenschieber mit einer definierten Kraft auf den Stahlzylinder geschoben. Für PDS® Stärke 0 und Vicryl® Stärke 0 betrug diese Kraft 2 kp, für PDS® Stärke 2-0 wurde die Kraft von 1 kp gewählt.

Anschließend wurde die Schlinge vom Zylinder gezogen und bis zur Messung am nächsten Tag bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit verwahrt.

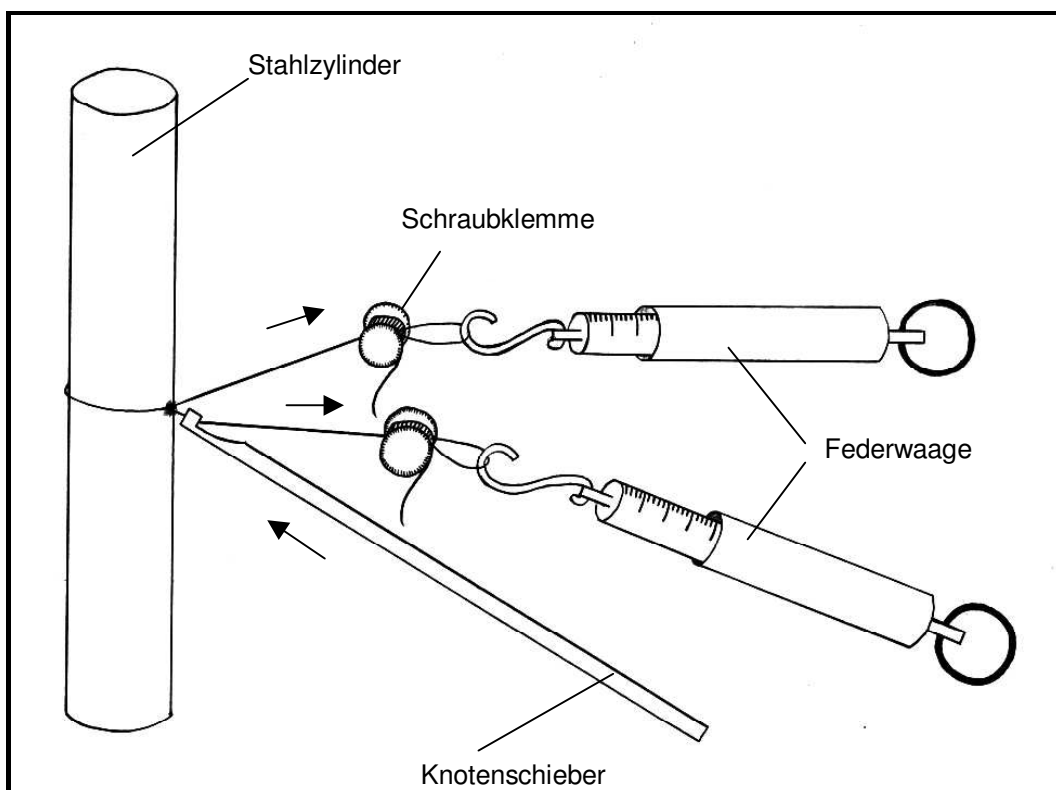


Abb. 7 Aufbau zum Erstellen der Schlingen

2.3.2 Zuziehen der Knoten am Gerät

Um eine Aussage darüber zu erhalten, ob die Vorspannung der Knoten relevant für die Untersuchungsergebnisse ist, wurde einerseits eine kurze Voruntersuchung dieses Phänomens durchgeführt und andererseits zwei verschiedene Versuchsreihen konzipiert, in denen entweder Schlingen fertig vorgelegt am Zugprüfgerät gezogen wurden, oder fertige Schlingen am Zugprüfgerät unter am Gerät gemessener, definierter Spannung zugezogen und erst dann gemessen wurden.

Bereits zur Voruntersuchung wurde ein Versuchsaufbau gewählt, bei dem die fertige Schlinge in das Zuggerät eingelegt wurde und dann erst mit Hilfe des Knotenschiebers in der Apparatur fest gezogen wurde. Dabei konnte man die Vorspannung (Spannung der Schlinge vor Beginn der Messung) direkt am Gerät ablesen.

Abbildung 8 veranschaulicht das Ergebnis dieses Tests. Es wurde der „*Schnelsener*“ Knoten mit PDS 2-0 Fadenmaterial verwendet und die Vorspannung schrittweise von 0 bis 18 N erhöht.

Man kann erkennen, daß bei Spannungen von 0 bis 10 Newton die größten Kräfte, die erreicht werden, in etwa gleich sind. Darüber hinaus gehende Spannungen erzeugen deutlich höhere Kräfte.

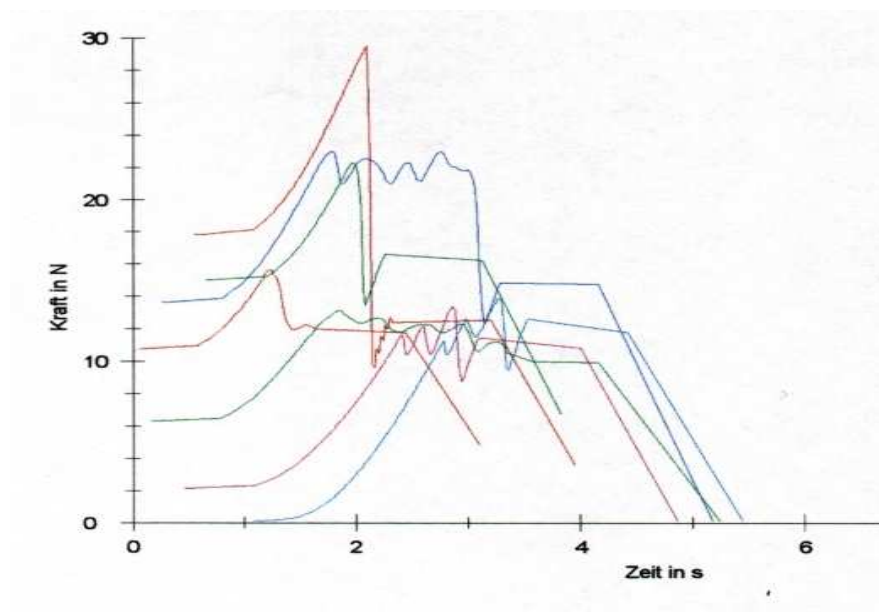


Abbildung 8 Verschiedene Vorspannungen

Für die standardisierten Messungen der Hauptversuche wurde deshalb eine Vorspannung von 6-7 N gewählt. Damit war gewährleistet, daß der Knoten unter adäquater Vorspannung war, sich also nicht spontan lockern konnte und gleichzeitig war der Einfluß auf die Gleiteigenschaften nur gering. Ein Abweichen der Vorspannung um 1 N ist dabei tolerabel. Diese Abweichung ist in praxi auch nicht vermeidbar, da die Kräfte zwar sehr genau gemessen werden können, aber die Kräfte, mit denen die Schlingen zugezogen werden, nicht so genau dosiert werden können. Somit war es wichtig, Kräfte zu verwenden, bei denen eine Abweichung von etwa 1 N keinen relevanten Einfluß auf die Gleiteigenschaften des Knotens hat.

2.3.3 Messung in blutigem Milieu

Um die Frage klären zu können, ob das Milieu (feucht oder trocken) einen Einfluß auf die Knotenkräfte hat und ob hierbei unterschiedliches Fadenmaterial verschiedene Ergebnisse ergibt, wurde ein Versuchsaufbau gewählt, bei dem zum einen die Schlingen in trockenem Zustand belassen wurden und zum anderen in heparinisiertem, humanen Vollblut eingelegt wurden, bevor sie am Meßgerät gezogen wurden.

Verwendet wurden PDS® -Fäden der Stärke 2 - 0 und Vicryl® -Fäden der Stärke 0.

20 ml heparinisiertes Blut wurde am Tage der Messung einem freiwilligen Probanden aus einer Armvene abgenommen und in zwei 10 ml - Spritzen bei Zimmertemperatur 1-2 Stunden bis zum Beginn der Messungen gelagert.

Das Blut wurde dann in eine Petrischale gegeben, in denen die vorgefertigten Schlingen derart zu liegen kamen, daß die Knoten unter der Oberfläche des Blutspiegels waren und somit sicher mit Blut benetzt waren. Anschließend wurden die Schlingen einzeln der Schale entnommen, die Knoten am Prüfgerät unter definierter Spannung zugezogen und dann gemessen.

Die Verweildauer der Schlingen im Blut betrug minimal 15 Minuten (Zeit vom Einlegen der ersten Schlinge bis zur Messung der ersten Schlinge) und maximal 60 Minuten (Zeit vom Einlegen der letzten Schlinge bis zur Messung der letzten Schlinge) .

2.4 Zugkraftmessung

2.4.1 Maßeinheiten

Kräfte sollten entweder in Kilopond (kp) oder in Newton (N) angegeben werden. Die Kraft von einem Kilopond entspricht dem Gewicht von einem Kilogramm (kg). Ein Kilopond entspricht 9,81 Newton.

Einer Zugkraft auf die Federwaage von 0,5 kg entspricht 4,905 N also etwa 5 Newton (N).

2.4.2 Federwaage

Die verwendete Federwaage ist eine hochwertige Industrie-Federwaage aus Edelstahl mit einem Meßbereich von 0 - 5 Kg. Die Skalierung ist in 50g Schritten ablesbar.

2.4.3 Zugprüfgerät

Als Tensiometer oder Zugkraftmeßgerät kam das Materialprüfgerät der Firma Zwick Materialprüfung mit der Gerätebezeichnung „Zwicki 1120“ zum Einsatz. Es wurde der Kraftaufnehmer Nr. 8297 für Kräfte bis 2,5 kN verwendet. Die Zuggeschwindigkeit, mit der die Schlingen auseinandergezogen wurden, betrug 100 mm/min. Die Kraftabschaltswelle war auf 2,5 N eingestellt. Das bedeutet, daß die Messung beendet wurde, sobald ein Abfall der gemessenen Kraft um 2,5 N registriert wurde. Dies geschah entweder, wenn der Faden riß, weil der Knoten komplett blockierte oder der Knoten sich lockerte.

Rutschte ein Knoten ohne Kraftverluste mit einer gleichmäßigen Reibung durch, so wurde die Messung nach 10 Sekunden beendet.

Für die am Gerät zugezogenen Schlingen betrug die "Einspannlänge", das heißt die Strecke zwischen den beiden Winkelstücken über die die Schlinge gelegt wurde, 15 mm.

2.4.4 Zugmethode

Es wurde nicht die Einzelstrangmethode sondern die Schlingenmethode - wie in Kapitel 1.3.1 beschrieben - verwendet. Erstens ist dies die in der Literatur am häufigsten verwendete Methode und zweitens ist die Manipulation an der fertig geknüpften Schlinge hierbei am geringsten.

2.5 Der "*Schnelsener*" Knoten

2.5.1 Knotenarchitektur

Mit der üblichen Nomenklatur sind die komplexen Gleitknoten nicht zu beschreiben. Speziell beim "*Schnelsener*" Knoten kommt noch hinzu, daß der Knoten seine Konfiguration ändert, wenn er unter Spannung steht. Funktionell ist dieser Knoten als ein selbstverriegelnder Gleitknoten konzipiert. Das bedeutet, daß es einen axialen oder zentralen Strang gibt, an dem der Knoten heruntergeschoben werden kann. Kommt jedoch Zug in umgekehrter Richtung auf den Knoten, bewirkt die spezielle Architektur, daß sich der Knoten umformt und eine "flat knot" - Komponente entsteht. Dieses ist ein Effekt der "Achter-Tour", mit der der Knoten gelegt wird. Gleichzeitig zieht sich der Knoten derart zu und verdichtet sich dabei, daß die Reibungskräfte ein Zurückgleiten des Knotens weitestgehend verhindern.

Die Abbildung 9 veranschaulicht den Knoten und läßt den axialen Strang erkennen.

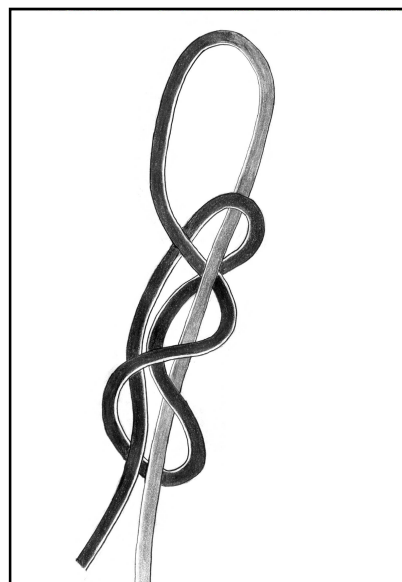


Abb. 9 Architektur des
"*Schnelsener*" Knotens

Die Abbildungen 10 a-d zeigen die Wirkung der "Achter-Tour". Diesem zentralen Element sind die besonderen Eigenschaften dieses Knotens zuzuschreiben.

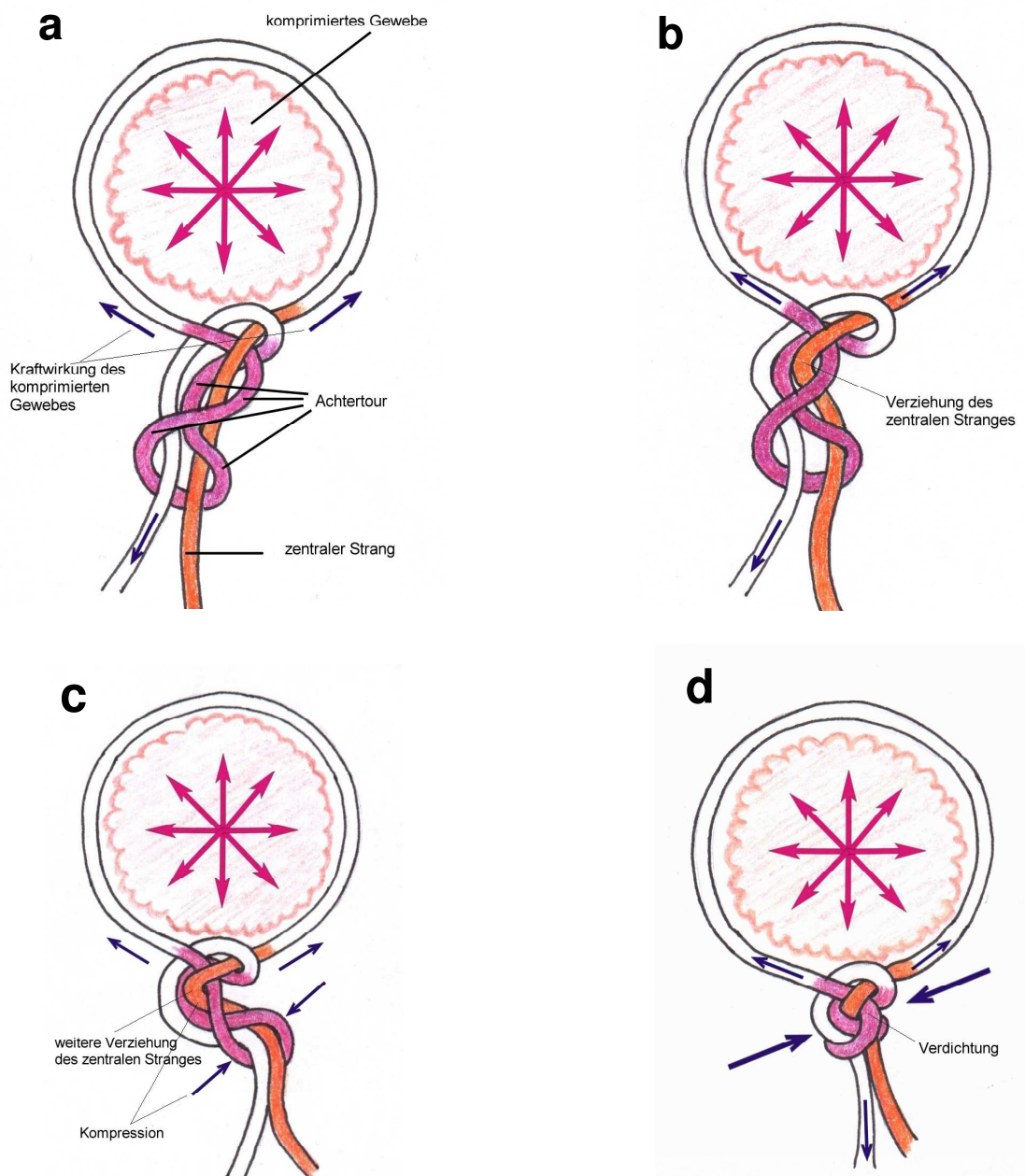


Abb. 10 a , b , c , d

Dynamik des unter Spannung geratenden
"Schnelsener" Knotens

Durch das Zuziehen des Knotens wird das Gewebe komprimiert. Die daraus resultierende Expansionskraft des Gewebes bringt Spannung auf die beiden Schlaufenenden des Knotens (siehe Pfeile rechts und links Abb. 10 a). Dadurch wird die Achtertour zugezogen und bewirkt, daß der zentrale Strang aus seiner axialen Richtung verzogen wird und somit ein „alternierender Gleitknoten“ entsteht.

Daß aus einem Gleitknoten durchaus ein Schifferknoten werden kann und umgekehrt, veranschaulicht die unten stehende Grafik (Abb.11), die aus dem Handbuch für Knotentechniken von R.F. Edlich entnommen ist (Edlich R.F. , USSC, 2000).

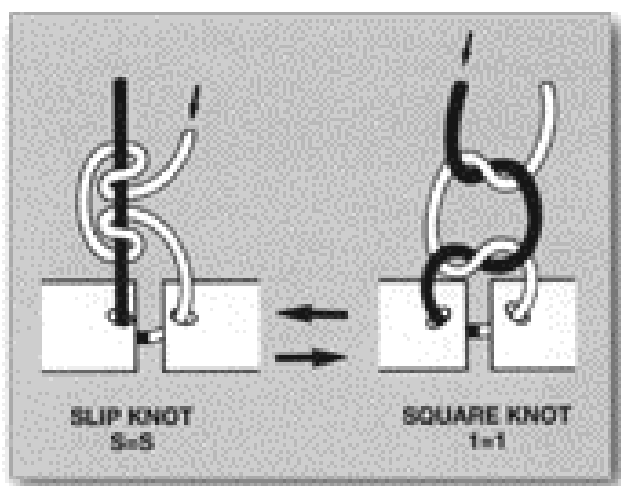


Abb.11 Überführung eines Gleitknotens in einen Schifferknoten und umgekehrt

Zusätzlich wird der Knoten durch die Zugkräfte komprimiert. Die Achtertour blockiert dabei an zwei Stellen den zentralen Strang (siehe Abb. 10 c). Der fertig zugezogene Knoten hat eine kompakte Form (siehe Abb. 10 d). Er enthält die Elemente, die im Folgenden schematisch dargestellt sind.

Kommt der Knoten unter Spannung entweder durch Gewebeexpansion, Druckerhöhung ligierter Gefäße oder weil das zusammengeführte Gewebe schon vorher unter Spannung stand, wird der zentrale Strang aus seiner geraden Achse gezogen und abgewinkelt (siehe Abb. 12 a [roter Strang und Pfeil]).

Es ergibt sich dadurch ein Wechsel des zentralen Stranges (grüne und rote Achse Abb. 12 b) und die oben beschriebene "flat knot" Komponente, bei der die beiden Stränge den Knoten in einer Ebene verlassen.

Dabei entstehen zwei voneinander unabhängige halbe Schläge und ein ganzer Schlag, die jeweils senkrecht aufeinander stehen (Balken Abb. 12 c).

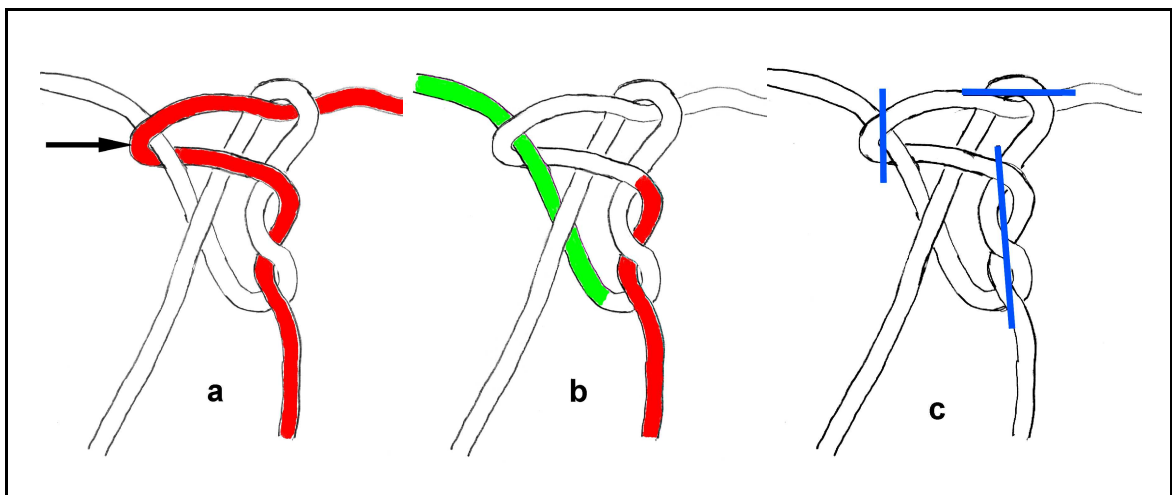
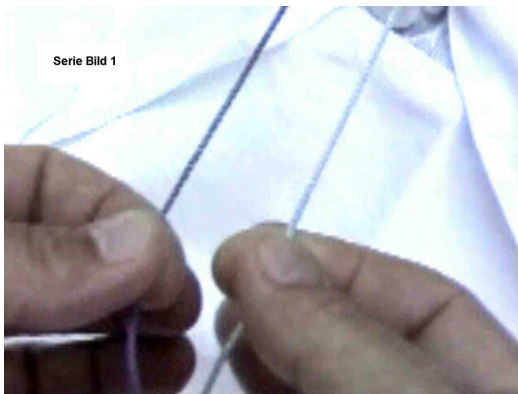


Abb. 12 a, b, c Charakteristika des "Schnelsener" Knotens unter Spannung, schematische Darstellung

2.5.2 Knüpftechnik

Ein besonderes Merkmal des *"Schnelsener" Knotens* ist die Geschwindigkeit, mit der sich der Knoten legen läßt.

Dabei kommen beim extrakorporalen Knoten zwei Fadenenden (zum Beispiel nach dem Legen einer Ligatur) aus der Trokarhülse heraus. Ein Assistent hält einen Finger auf die Hülseöffnung zwischen die Fadenenden, so daß deutlich ein rechtes und ein linkes Fadenende erkennbar ist. Das rechte Ende wird zum



zentralen Strang und ist meist das längere Ende, da es noch in den Knotenschieber eingespannt werden muß. Es wird in den nebenstehenden Abbildungen hell dargestellt.

Das andere, meist kürzere Ende wird zum Knoten benutzt. Es ist hierfür günstig, wenn es nicht zu lang ist. Es wird in den folgenden

Bildern dunkel dargestellt (Bild 1).

Die beiden Fadenenden werden nun parallel gehalten und der linke Faden zum korrekten Legen eines halben Schlages mit üblicher chirurgischer Knüpftechnik unterkreuzt.

Ist der halbe Schlag fertig geknüpft, so wird er zwischen Zeigefinger und Daumen der linken Hand festgehalten.



Dabei kommt der linke Zeigefinger von oben zwischen den beiden Fäden zu liegen (siehe Bild 2).

Der kurze Faden steht nun nach rechts ab (Bild 3).

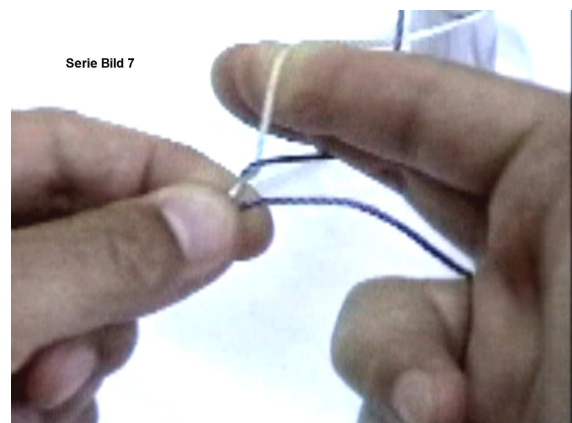


Es ist darauf zu achten, daß genügend Raum zwischen der Trokarhülse und dem Knoten ist.

Es wird mit der rechten Hand über beide Fäden hinweg nach links überkreuzt und von unten mit dem Zeige- und Mittelfinger zwischen die Fäden gefaßt (Bild 4). Dabei zeigt die Plantarfläche



der rechten Hand nach links außen. Jetzt werden die beiden Finger zwischen den Fäden gestreckt (Bild 5). Der rechte Arm wird gesenkt, so daß die Fingerspitzen nach oben zeigen. Dabei kippt die Handfläche nach oben, wobei die Fäden in einer doppelten Acht um einander gedreht werden (Bild 6, 7 , 8)



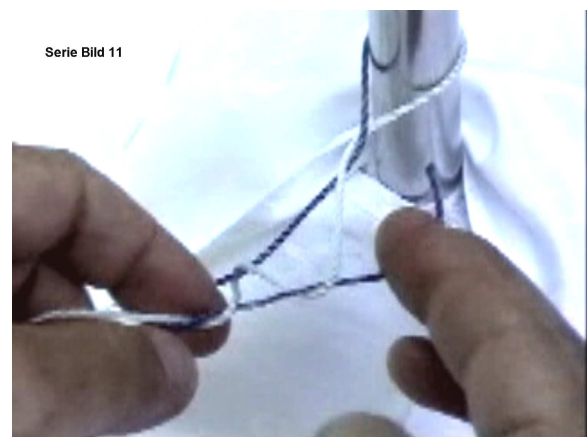
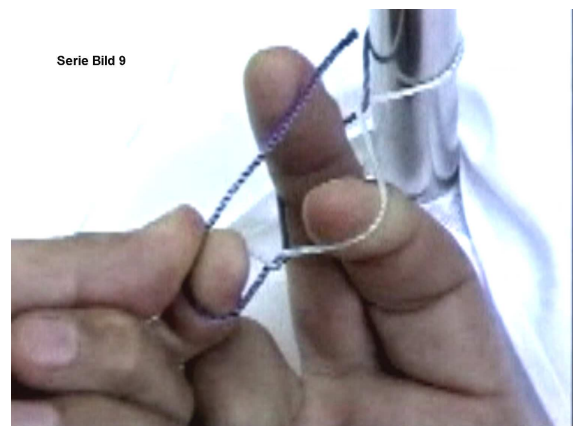
Die beiden Finger der rechten Hand fassen nach dem kurzen Fadenende. Dieser Vorgang kann mit der linken Hand unterstützt werden, die den ersten Knoten und damit auch das kurze Fadenende hält.

Das kurze Fadenende wird sozusagen von der linken Hand an die rechte übergeben (siehe Bild 9).

Dieser Vorgang ist fühlbar, so daß er auch im abgedunkelten Raum sicher durchführbar ist.

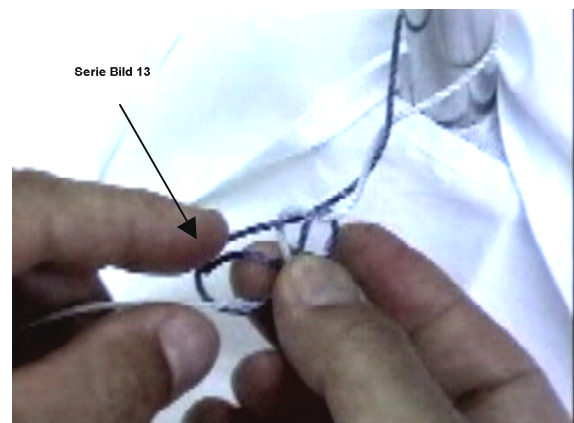
Das Fadenende wird nun mit Mittel- und Zeigefinger der rechten Hand

festgehalten (Bild 10) und durch die doppelte Achterschlinge hindurch gezogen,

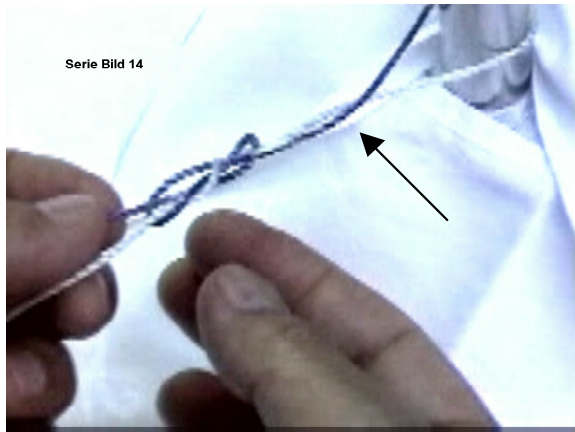


indem sich die rechte Hand aus der Schlinge zurückzieht (Bild 11).

Das kurze Fadenende wird nun zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand gehalten (Bild 12) und von unten her durch die vordere Schlinge der Doppelacht gesteckt (Bild 13). Dabei dient der Zeigefinger der linken Hand, der



sich ebenfalls noch in dieser Schlinge befindet, als fühlbare Leitstruktur. Er kann zusammen mit dem von unten kommenden Fadenende aus der Schlinge genommen werden (siehe Pfeil Bild 13). Auch dieser Vorgang ist, da er fühlbar ist, in einem abgedunkelten Raum sicher durchführbar.



Das kurze Fadenende befindet sich nun zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand. Der axiale Strang und der kurze Faden sind zu diesem Zeitpunkt noch umeinander verdreht (siehe Pfeil Bild 14).

Durch eine Rotation des gesamten Knotens einmal nach links um die

Längsachse wird diese Torsion behoben. Dafür muß der kurze Faden lediglich einmal von unten mit der rechten Hand gefaßt und von oben mit der linken Hand wieder übernommen werden (Bilder 15 u. 16).

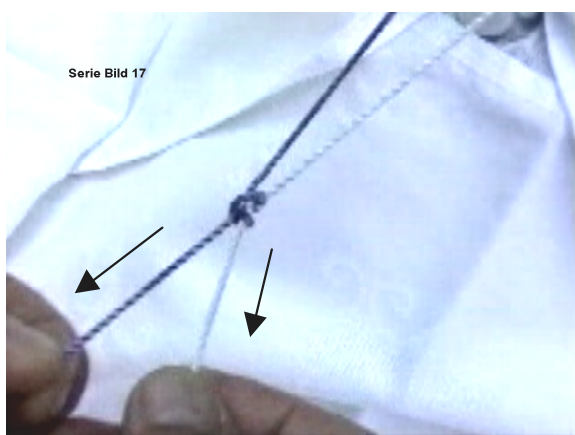


Auch dieser Vorgang ist in einem abgedunkelten Raum sicher durchführbar.

Der jetzt fertige Knoten wird nun am kurzen Fadenende zugezogen womit die

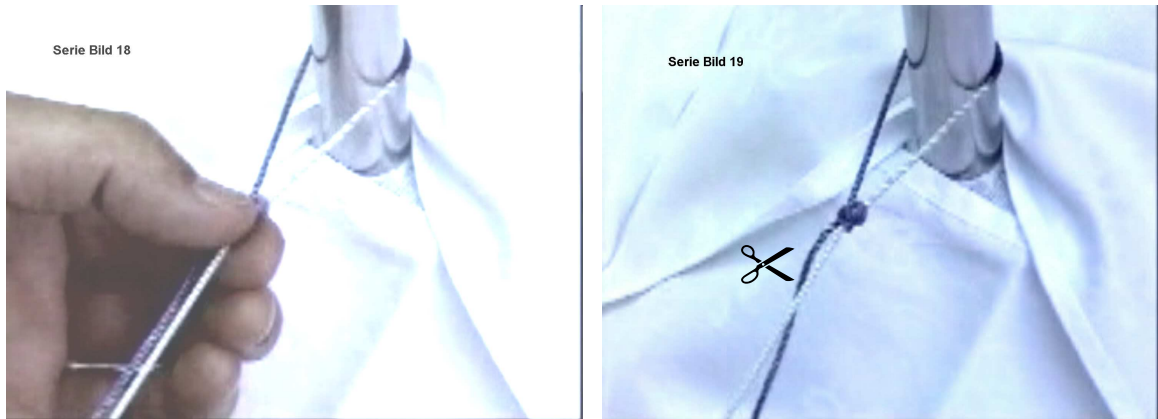
gewünschte Haltekraft und Gleitfähigkeit dosiert werden kann.

Dabei ist streng darauf zu achten, daß der axiale Faden stramm gehalten wird (rechter Pfeil Bild 17) und der kurze Faden nur in der Längsachse *auf sich zu* gezogen wird (linker Pfeil Bild 17).



Anderenfalls blockiert der Knoten und läßt sich nicht mehr hinunter schieben!

Es kann jetzt die Gleitfähigkeit durch Verschieben des Knotens mit der Hand geprüft werden und durch vermehrtes Anziehen des kurzen Fadenendes die Reibung und damit die Haltekraft erhöht werden (Bild 18).



Zuletzt wird der kurze Faden mit einer Schere soweit gekürzt, wie er später belassen werden soll.

Jetzt kann der Knoten mit dem Knotenschieber hinunter geschoben werden.

2.5.3 Besonderheiten beim Gebrauch

Der "*Schnelsener*" *Knoten* ist bereits im regelmäßigen, praktischen Einsatz. Somit bestehen umfangreiche Erfahrungen mit dem Knoten bei der Laparoskopie. An dieser Stelle seien nur kurz wichtige Besonderheiten und Zusatzinformationen erwähnt.

2.5.3.1 Zuziehen des Knotens

Es ist von elementarer Wichtigkeit, daß der Knoten, wenn er am kurzen Ende zugezogen wird, auf den straff gehaltenen, axialen Strang geknüpft wird. Außerdem muß der kurze Faden in Richtung der Längsachse und weg von der Trokarhülse festgezogen werde. Der Knoten blockiert sonst unter Umständen irreversibel.

2.5.3.2 Konterknoten

Alle Gleitknoten sind prinzipiell in der Lage bei sehr hoher Spannung zurück zu gleiten. Je nach Fadenmaterial und Knotentyp halten sie aber einer mehr oder weniger großer Spannung stand.

Möchte man ein Aufgleiten komplett vermeiden oder ist es wichtig, daß die Spannung (z. B. bei nicht resorbierbaren , monofilen Fäden) über einen sehr langen Zeitraum sicher gehalten wird, ist es möglich den "*Schnelsener*" *Knoten* wie man es auch vom *Weston-Knoten* her kennt, durch einen Konterknoten zu sichern.

Dieser Konterknoten wird, nachdem der "*Schnelsener*" *Knoten* auf das Objekt heruntergeschoben und straff angezogen wurde, intrakorporal mit zwei Nadelhaltern gelegt. Hierzu kürzt man das lange Fadenende auf eine Länge von ca. 10 cm und knotet einen halben oder ganzen Schlag auf das kurze Fadenende. Auf diese Weise erreicht man noch einmal einen Wechsel des axialen Stranges (da mit dem axialen Strang geknotet wird) und aus dem Gleitknoten wird ein nach Dinsmore "alternierender Gleitknoten", der komplett blockiert (Dinsmore 1995).

Diese Technik ist allerdings nur in Ausnahmefällen nötig.

2.5.3.3 Zusätzliche Haltekraft

Möchte man mit einem glatten Faden festes Gewebe unter hoher Spannung vereinigen, so ist es möglich, die Haltekraft des "*Schnelsener*" Knotens deutlich zu erhöhen.

Hierzu liegen bisher allerdings nur eigene Erfahrungen und Vorversuche vor, jedoch keine exakten Messungen. Man erhöht die Haltekraft des Knotens erheblich, wenn man zu Beginn nicht - wie in Bild 2 Seite 31 beschrieben - einen *halben* sondern einen *ganzen* Schlag knotet.

Man kreiert also zuerst einen sogenannten "chirurgischen Knoten" und knüpft den Knoten anschließend wie gewohnt weiter. Dadurch entsteht keinerlei Zeitverlust. Das Knotenvolumen erhöht sich dadurch naturgemäß geringfügig.

2.5.3.4 Technik mit Nadelhalter

Sollte der gewählte Faden einmal zu kurz ausgefallen, oder die Strecke im Abdomen so groß sein, daß nur noch sehr kurze Fadenenden aus der Trokarhülle herauschauen, ist ein Legen des Knotens mit der Hand vielleicht unmöglich.

In diesem Fall ist es immer noch möglich mit einem konventionellen Nadelhalter die beiden Finger der rechten Hand zu ersetzen und somit auf sehr engem Raum den Knoten zu legen.

Der Faden muß lediglich lang genug sein, den ersten halben Schlag mit den Händen knoten zu können. Dann wird dieser halbe Schlag wie üblich mit der linken Hand festgehalten. Mit dem Nadelhalter geht man nun, von links unten kommend, zwischen die beiden Stränge ein und führt die Doppelacht-Rotation aus. Dann übernimmt der Nadelhalter den kurzen Faden und zieht ihn durch die mittlere Schlaufe der Doppelacht. Mit dem Nadelhalter führt man nun das Fadenende des kurzen Fadens von unten durch die distale Schlaufe der Doppelacht. Nach dem Detorquieren der Fäden kann man nun mit dem Nadelhalter am kurzen Fadenende den Knoten straff ziehen.

2.6 Der neue Knotenschieber

Es wurde ein neuer Knotenschieber entwickelt. Nach praktischer Prüfung des Prototypen wurde dieser in den breiten, praktischen Einsatz bei der Laparoskopie übernommen.

Es handelt sich um einen universellen, geschlossenen, resterilisierbaren Knotenschieber aus chirurgischem Stahl.

2.6.1 Probleme mit offenen Knotenschiebern

Eine große Zahl der allgemein verwendeten Knotenschieber in der minimal invasiven Chirurgie sind offene Knotenschieber. Das heißt, daß der Knotenschieber mit einer meist rillenförmigen Öffnung über den Faden geschoben wird. Manchmal handelt es sich auch nur um eine zweizinkige Gabel, deren Zinken sich V-förmig verengen und so auf dem Faden gleiten.

Diese Systeme sind zwar durchaus praktikabel aber nicht sicher und auch nicht komfortabel. Zum einen kann der Knotenschieber leicht vom Faden abrutschen, was besonders leicht dann passiert, wenn man (z. B. innerhalb der Trokarhülle) den Faden und den Knotenschieber nicht mit den Augen verfolgen kann.

Zum anderen kann der Faden bzw. der Knoten nicht uneingeschränkt mit dem Knotenschieber dirigiert werden, da der Knotenschieber zumindest *eine* offene Seite hat.

Dieses Problem hat auch Szold (Szold A. 1997) erkannt, der einen Knotenschieber beschreibt, bei dem der Faden ebenfalls eingefädelt wird. Dieser Knotenschieber ist allerdings für das Führen eines Fadens konzipiert um damit intrakorporal einen Knoten zuzuziehen. Dieses Instrument ist in der Abb. 1 Seite 9 zu sehen.

2.6.2 Beschreibung des neuen Knotenschiebers

Der Knotenschieber ist aus einem 380 mm langen und 4.5mm starken Volledelstahlstab gefertigt. Er ist an beiden Enden verwendbar und hat zwei

verschiedene Bohrungen für die verschiedenen Fadenstärken. Auf der einen Seite ist eine zentrale Bohrung von 1,1 mm Durchmesser auf der anderen Seite eine Bohrung von 0,6 mm Durchmesser angebracht.

Um den Faden auch in abgedunkelten Räumen leicht einfädeln zu können, sind die beiden Enden des Stabes trichterförmig ausgefräst. Diese Trichter enden dann in der zentralen Bohrung.

Um den Faden leicht nach dem Einfädeln entgegennehmen zu können, endet die Bohrung in einer fingerbreiten, dellenförmigen Aussparung. Der Faden wird somit beim Durchfädeln aus dem Knotenschieber hinaus geleitet.

Die Abbildung 13 zeigt ein solches Ende des Knotenschiebers .

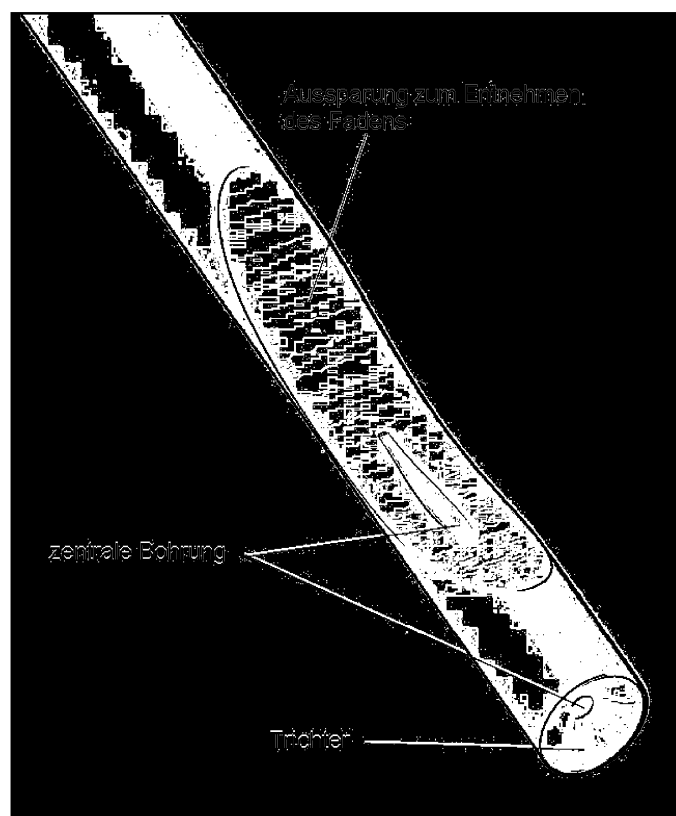


Abb.13 Endstück des Knotenschiebers

In Abbildung 14 sieht man den Knotenschieber schematisch im Längsschnitt.

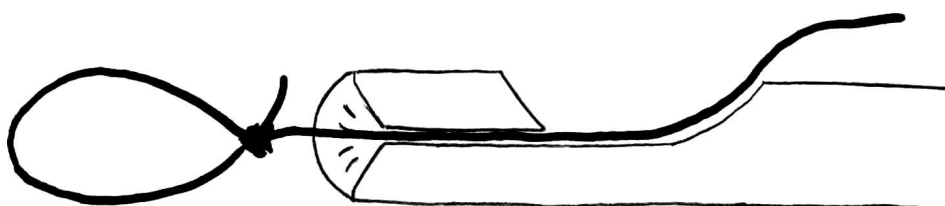


Abb. 14 Längsschnitt Knotenschieber

Man kann erkennen, wie der Faden durch die muldenförmige Aussparung aus dem Knotenschieber herausgeführt wird.

Die wesentlichen Vorteile dieses Knotenschiebers sind:

1. Durch das geschlossene System kann der Faden und der Knoten nicht abrutschen. Man kann somit auch unter schwierigen Verhältnissen sicher und mit jeder gewünschten Kraft knoten.
2. Man kann mit ihm den Faden bzw. den Knoten an die gewünschte Position dirigieren. Durch das geschlossene System kann der Faden nicht ausweichen.
3. Er ist durch die minimalen Hohlräume leicht zu reinigen und zu sterilisieren und damit gut wieder verwendbar.
4. Er hat keine mechanischen Teile, die einem eventuellen Verschleiß unterliegen könnten. Die Haltbarkeit ist daher nahezu unbegrenzt.
5. Man kann eine Schlinge vorfertigen, sie in den Knotenschieber einfädeln und wie eine fertige, kommerziell gefertigte Endoschlinge verwenden.
Das bedeutet, daß
 - a) jedes nur denkbare Fadenmaterial in jeder Stärke verwendet werden kann und
 - b) der Preis erheblich niedriger ist.

2.5.3 Herstellung

Der Prototyp ist zuerst in einer Kunststoffversion vom Autor selbst hergestellt und im außerklinischen Einsatz erprobt worden.

Die Firma Smith & Nephew GmbH (Surgical Division, Osterbrooksweg 71, 22869 Schenefeld) hat dann die Herstellung des ersten Prototypen aus Edelstahl für den klinischen Einsatz nach Angaben des Autors übernommen.

Dort liegen jetzt auch die technischen Zeichnungen und Zertifizierungsunterlagen für die Produktion vor.

Der Preis für einen Knotenschieber, der nach wie vor in Einzelanfertigung hergestellt wird, liegt bei ca. 400,- DM pro Stück.

2.7 Messung der Knotenmasse :

Es wurden von jedem Knotentyp 28 Knoten geknüpft. Dieses geschah unter definierter Spannung (2 kp ~ ca. 20 N) auf *beiden* Schenkeln. Somit waren alle Knoten gleich stark "komprimiert". Die hohe Kraft wurde verwendet um ein Lockern oder Aufspringen des Knotens, bevor er noch exakt beschnitten war, zu verhindern.

Verwendet wurde ein PDS® Faden der USP Stärke 0.

Die Knoten wurden durch Kappen der überstehenden Schlinge und Fadenenden isoliert. Es wurde so dicht am Knoten geschnitten, daß makroskopisch kein Faden mehr überstand.

Die vorgefertigten Schlingen der Endloops wurden gleichermaßen behandelt.

Anschließend wurden alle 28 Knoten eines Typs auf einer elektronischen Apothekerwaage gemeinsam gewogen. Die Meßgenauigkeit der Waage betrug 0,001 mg mit einer möglichen Abweichung von 1 µg.

Aus Kostengründen wurden von den teuren Endloops nur 12 Stück verwendet. Das Meßergebnis wurde dann zur Vergleichbarkeit auf 28 Knoten hochgerechnet.

2.8 Statistik

Zur Berechnung der Signifikanzen und Abschätzung von Trends wurde der *Kruskal-Wallis Test* verwendet.

Dieser nichtparametrische Test, setzt keine bestimmte Verteilung der Stichproben voraus und testet in Erweiterung des Mann-Whitney-Wilcoxon Tests den Unterschied von Verteilungen, wobei er zusätzliche Informationen über die rangmäßige Abstufung der Stichproben verwendet (Lübbert 1999).

Rechnerisch wird der Test auf der Basis der rangtransformierten Variablen (Gediga 1998 ; medweb Uni-Münster) durchgeführt. Dabei bekommt der kleinste Wert den Rang 1 und der höchste Wert bei n Werten den Rang "n". Allen Daten aus allen Stichproben wird so eine Rangzahl zugeordnet. Anschließend trennt man die Stichproben wieder und addiert die Rangzahlen in jeder Stichprobe. Durch Einsatz in die Formel und Hinzuziehen von Tabellen ergibt sich die Signifikanz (Bauer E.-M. 1996).

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt als *Tukey's Boxplot* (auch Box-Whisker-Plot oder 5-Zahlen-Zusammenfassung). Die fünf Werte, die dargestellt werden sind: Median, unteres und oberes Quartil, Minimum und Maximum. Zwischen dem Median und dem jeweiligen Quartil liegen dabei je 25% der Verteilung, ebenso unterhalb des unteren und oberhalb des oberen Quartils. Die Präsentation mit dieser Methode empfiehlt sich zur Wahrnehmung zentraler Tendenz und Variabilität bei mehreren Datenreihen . Man muß jedoch bedenken, daß hier statistisch verarbeitete Kennwerte dargestellt werden und keine Originaldaten.

In den unten gezeigten Boxplot Graphiken sind die Extremausreißer nach der von Tukey vorgeschlagenen "Daumenregel" (Werte jenseits des 1,5 fachen des Interquartilabstands) identifiziert und durch Fernpunkte dargestellt. Es handelt sich somit bei den gezeigten Graphiken um "*punktierte Boxplots*" (Tiemann V. 1999/00 ; VGSPS 1999 ; Medienzentrum Uni-Saarland).

2.9 Methodenkritik

2.9.1 Messung der Knotenmasse

Es wurde bereits erwähnt, daß von den vorgefertigten Knoten der Endloops nur 12 Stück gewogen wurden. Das ermittelte Gewicht ist auf 28 Knoten hochgerechnet. Bei dieser kleinen Zahl könnten sich Ungenauigkeiten in der Präparation der Knoten oder der Wiegung in der Hochrechnung ergeben. Daß dieses mit großer Wahrscheinlichkeit keine Bedeutung hat, zeigt der Vergleich mit den 28 von Hand gelegten *Melzer-Bueß-Knoten* (siehe Abb. 32 Seite 60). Der nur geringe Unterschied im Gewicht zwischen den selbst geknüpften *Melzer-Bueß-Knoten* und den industriell gefertigten Knoten demonstriert eine hohe Genauigkeit in der Präparation und der Wiegung.

2.9.2 Knotenlegekraft

Die Behauptung, ein Knoten habe eine unterschiedliche Haltekraft je nachdem mit welcher Kraft er zugezogen wird, wird in dieser Arbeit als richtig vorausgesetzt, weil die allgemeine Erfahrung es wahrscheinlich macht. Diese Behauptung wird zwar durch die wenigen Vorversuche mit den eindrucksvollen Kraftkurven (siehe Abb. 6 Seite 21) untermauert, ein statistischer Beweis erfolgt jedoch nicht. Ziel der Arbeit war es, Meßmethoden anzuwenden, die möglichst leicht reproduzierbar und standardisiert sind.

Es ist also kein methodischer Fehler, wenn ein Kriterium wie das der Knotenlegekraft standardisiert wurde, obwohl nicht bewiesen ist, daß dieses notwendig ist.

2.9.3 EDTA - Blut

Das in den Versuchen mit blutigem Milieu verwendete Blut war zur Gerinnungshemmung mit EDTA versetzt, wie dies bei Laboruntersuchungen üblich ist. Es ist nicht vollständig ausgeschlossen, daß das EDTA eine unbekannte Wirkung auf das Fadenmaterial hat. Auch ist nicht bekannt, ob das EDTA die

Gleiteigenschaften oder Viskosität des Blutes maßgeblich verändert. Dieses ist bei der verwendeten Dosierung zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht ausgeschlossen. Methodisch spielt diese Überlegung eine Rolle, da angestrebt wird, möglichst physiologische Bedingungen für die Meßsituation zu schaffen. Für den Vergleich der Knoten untereinander ist dies nicht von Bedeutung, da für alle Knoten die gleichen Bedingungen herrschten.

2.9.4 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit sowohl bei der Herstellung der Knoten als auch bei der Messung der Knotenkräfte wurde weder gemessen noch an physiologische Bedingungen (37° Celsius) angepaßt.

Es ist anzunehmen, daß diese Parameter von den intraabdominell herrschenden Bedingungen abweichen. In wieweit dies relevant ist, kann nur vermutet werden. Kurzzeitig ist dies sicher nicht entscheidend. Langfristig unterscheiden sich die Bedingungen eines in vivo gelegten Knotens gänzlich von den Untersuchungen, da das Fadenmaterial über Tage im feuchten Gewebe eingebettet bleibt.

Deshalb darf der geringe Unterschied der Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei der Herstellung und Messung der Knoten vernachlässigt werden.

Auch hier gilt, daß die Bedingungen für alle Knoten gleich waren und damit eine Vergleichbarkeit untereinander gewährleistet ist.

2.9.5 Industriell vorgefertigte Schlingen

Die industriell vorgefertigten Schlingen sind in einigen Testreihen mitgeprüft worden, um festzustellen, ob der von Hand geknüpft Knoten mit dem käuflichen Knoten vergleichbar ist. Es dient somit auch als Indiz, daß der selbst geknüpft Knoten korrekt gelegt wurde. Aus Gründen der Materialkosten ist die vorgefertigte Schlinge nicht in allen Testreihen mitgeprüft worden.

In wieweit sich verschiedene Chargen oder Packungen der Endoloops® unterscheiden, ist nicht bekannt. Die Schlingen stammen aber aus für den Verkauf vorgesehenen, einzelnen und sterilisierten Originalverpackungen.

2.9.6 Einfluß der Vorspannung

Es erfolgt kein direkter Vergleich der Messung bei vorgefertigtem Knoten oder am Prüfgerät zugezogenem Knoten. Es kann somit nicht der Einfluß dieser unterschiedlichen Methoden auf die gemessenen Knotenkräfte geklärt werden. Es wäre denkbar, daß dieser Einfluß bei verschiedenen Fadenmaterialien unterschiedlich ist, ohne daß diese Frage geprüft wurde.

Die vorliegenden Daten klären jedoch zweifelsfrei, ob die gemessenen Knoten sowohl bei der einen als auch bei der anderen Methode sicher sind und wie hoch die Knotenhaltekräfte absolut unter den verschiedenen Bedingungen sind.

2.10 Multimediale Präsentation des Systems

Die moderne Kommunikationstechnik erlaubt es heute, technische und wissenschaftliche Neuerungen einer breiten Anwenderschaft leicht nachvollziehbar zu präsentieren. Durch die Verbreitung der PCs bietet sich das Internet hierfür in hervorragender Weise an.

Es soll erreicht werden, daß interessierte Operateure schnell und effizient in die Lage versetzt werden, den Knoten korrekt und mit einer möglichst steilen Lernkurve zu legen. Die schnelle und sichere Beherrschung der Technik kommt vor allem den Patienten zu Gute.

Dieser Arbeit ist daher eine CD-ROM beigefügt, auf der sich eine multimediale Präsentation des Knotens und des Knotenschiebers befindet.

Diese Präsentation ist so gestaltet, daß sie sich - nach Annahme dieser Arbeit als Dissertation - im Internet veröffentlichen läßt.

Diese Internetseiten können bereits jetzt durch Anklicken der Datei "knotpage.htm" auf der CD-ROM betrachtet werden.

3 Ergebnisse

In den folgenden Testreihen unterscheiden sich sowohl die verwendeten Fadenstärken als auch das verwendete Fadenmaterial. Weiterhin muß differenziert werden, ob die Knoten in blutigem Milieu oder trocken gezogen wurden und ob die Knoten ihre endgültige Vorspannung am Gerät erhielten oder ob sie vor der Messung gelegt, vom Zylinder abgenommen und dann in spannungslosem Zustand gezogen wurden.

Es wurden insgesamt fünf Testreihen durchgeführt :

Testreihe 1 : Vicryl® 0, blutig, am Gerät zugezogen

Testreihe 2 : PDS® 2-0, trocken, am Gerät zugezogen

Testreihe 3 : PDS® 0, trocken, vorgelegte Schlingen

Testreihe 4: Vicryl® 0, trocken, vorgelegte Schlingen

Testreihe 5 : PDS® 2-0, blutig, am Gerät zugezogen

Sofern es nicht explizit angegeben ist, bedeutet in den statistischen Tabellen die Zahl

1 = „*Schnelsener*“ *Knoten*

2 = *Melzer-Bueß-Knoten*

3 = *Weston-Knoten*

4 = *Roeder-Knoten*

und 5 (sofern vorhanden) = vorgefertigter *Melzer-Bueß-Knoten* (*Endoloop®*)

3.1 Testreihe 1 mit Fadenmaterial Vicryl 0, blutig, am Gerät gezogen

Die Knoten wurden am Gerät mit einer Kraft von 5-7 N zugezogen. Die Messung erfolgte im blutigen Milieu. Das Material bestand aus Vicryl® der Stärke 0. Die industriell vorgefertigte Endloop wurde nicht mitgeprüft. In der Tabelle 1 sind die Knotenhaltekräfte in Newton angegeben. Der Mittelwert wird in der Zeile „x“ für den jeweiligen Knotentyp angegeben, in der Zeile „±s“ ist die jeweilige Standardabweichung dargestellt.

Nr.	1= Schnelsener	2=Melzer Bueß	3=Weston	4=Roeder
1	25,48	45,58	18,55	24,15
2	22,26	77,06	17,83	13,4
3	36,76	44,83	21,86	39,66
4	27,46	13,95	24,29	34,47
5	33,75	29,2	18,47	18,62
6	34,27	27,08	23,96	28,74
7	23,6	46,19	11,97	17,49
8	25,62	55,09	28,08	16,66
9	30,2	83,73	15,01	29,48
10	57,38	34,76	8,91	34,14
11	34,11	53,96	14,57	30,7
12	27,0	44,15	10,96	23,69
13	27,67	50,73	16,18	19,36
14	32,56	48,84	13,64	31,41
15	37,49	49,7	13,25	40,66
16	35,56	31,22	13,61	57,13
17	34,95	39,88	18,33	54,08
18	46,1	28,24	12,8	20,54
19	31,27	39,61	13,87	35,42
20	32,97	48,93	16,99	43,41
21			10,2	4,69
x	32,82	44,64	16,35	29,42
±s	8,06	16,16	4,97	13,08

Tab. 1 Haltekräfte der Knoten (Newton) in blutigem Milieu,
Fadenmaterial Vicryl 0, Mittelwert ± Standardabweichung

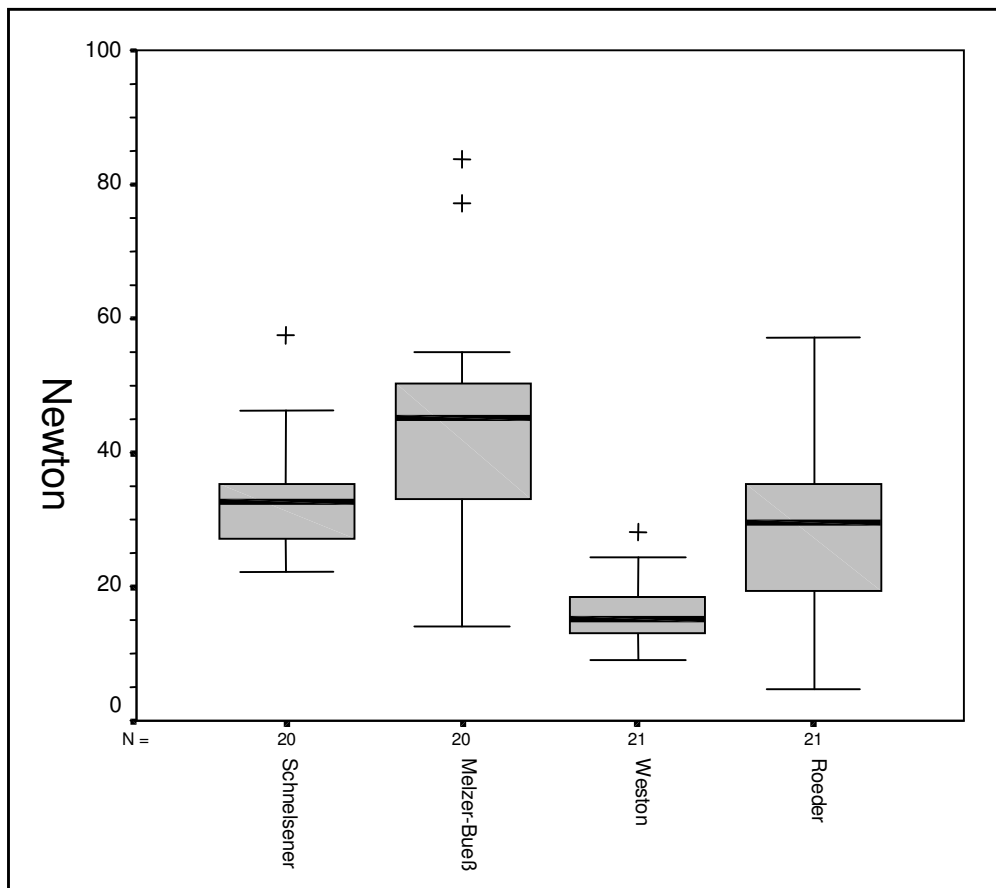


Abb. 15 Boxplot Darstellung der Haltekräfte in N

Abb. 15 zeigt, wie dicht der mittlere Rang des „Schnelsener“ Knotens und des Roeder-Knotens beieinander liegen. Die Haltekraft des Weston-Knotens liegt deutlich niedriger, als die aller anderer Knoten.

Es wird deutlich, daß die Varianz des Weston-Knotens klein und vor allem die des Roeder-Knotens und des Melzer-Bueß-Knotens vergleichsweise sehr groß ist.

Bei den in der Darstellung mit einem " + " gekennzeichneten Werten handelt es sich um Extremausreißer, die bei einem punktierten Boxplot als Fernpunkte dargestellt werden.

Die asymptotische Signifikanz ist für den Vergleich aller 4 Knoten nach dem Kruskal-Wallis Test mit $p < 0,0005$ (Abb 16) berechnet. Das bedeutet, daß die Unterschiede zwischen den Knoten hoch signifikant sind.

Betrachtet man nun die Ränge (Abb. 17), so ist auch hier schon offensichtlich, daß der Weston-Knoten mit einem mittleren Rang von 15,48 weit hinter allen anderen Knoten zurückliegt.

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	41.817
df	3
Asymptotische Signifikanz	.000

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: A

Abb. 16 Statistik Testreihe 1

Ränge			
	A	N	Mittlerer Rang
B	1	20	48.30
	2	20	62.20
	3	21	15.48
	4	21	41.33
	Gesamt	82	

Abb. 17 Ränge Testreihe 1

Es könnte nun sein, daß der signifikante Unterschied zwischen den 4 Knoten lediglich auf den niedrigen Werten des *Weston-Knotens* beruht. Aus diesem Grunde wurde die Signifikanz noch einmal gesondert nur für die drei "besseren" Knoten berechnet.

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	11.683
df	2
Asymptotische Signifikanz	.003

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: Knoten

Abb. 18 Statistik für Testreihe 1
ohne *Weston-Knoten*

Ränge		
Knoten	N	mittlerer Rang
Schnelsener	20	27.85
Melzer Bueß	20	41.85
Roeder	21	23.67
Gesamt	61	

Abb.19 Ränge Testreihe 1
ohne *Weston-Knoten*

Auch hier zeigt sich noch eine eindeutige Signifikanz mit einem p Wert von 0,003. Dabei unterscheiden sich der „*Schnelsener*“ Knoten und der *Roeder-Knoten* nur noch im Trend (ns p= 0,285), beide haben aber signifikant geringere Haltekräfte als der *Melzer-Bueß-Knoten*.

3.2 Testreihe 2 mit Fadenmaterial PDS 2 - 0, trocken, am Gerät gezogen

Das Fadenmaterial bestand aus einem monofilen PDS II® Faden der USP Stärke 2 - 0 und die Knoten wurden in trockenem Zustand gelegt und gezogen. Die Schlingen wurden mit einer Vorspannung von 5 – 7 N am Gerät zugezogen. Es wurden zwischen 21 und 24 Messungen vorgenommen.

Nr.	Schnelsener	Melzer Bueß	Weston	Roeder	MelBue-fertig
1	9,47	30,37	13,33	35,55	63,67
2	10,58	26,97	12,88	23,46	10,66
3	9,04	25,49	12,44	15,55	7,85
4	22,15	77,62	8,77	9,22	47,16
5	31,87	35,12	8,16	9,51	13,06
6	25,24	31,47	11,42	24,03	41,01
7	13,57	25,25	12,45	8,04	39,98
8	35,45	74,4	13,09	7,89	12,8
9	51,97	24,46	9,63	7,15	42,25
10	34,28	42,27	9,13	9,3	11,27
11	24,49	11,2	7,15	12,33	11,7
12	40,17	7,2	10,77	11,54	9,85
13	10,35	66,64	7,44	9,11	50,95
14	22,15	81,51	14,83	24,2	42,62
15	17,81	69,9	9,35	33,61	52,28
16	37,86	24,13	12,14	32,25	16,98
17	10,23	80,13	11,08	8,72	41,93
18	32,42	19,48	10,61	7,03	39,76
19	10,87	42,15	10,25	23,87	41,86
20	25,3	26,73	8,89	25,32	38,28
21	10,37	25,89	7,3	9,35	10,85
22		73,09		26,17	31,3
23		29,73			39,67
24		24,51			
x	23,13	40,65	10,53	16,96	31,21
± s	12,44	23,74	2,20	9,70	17,16

Tab. 2 Knotenhaltekräfte (Newton) in trockenem Zustand, Material PDS® 2 - 0
Mittelwerte ± Standardabweichung

In dieser Testreihe ist der industriell gefertigte *Melzer-Bueß-Knoten* mitgetestet worden. Die Varianz ist bei dem selbst geknoteten *Melzer-Bueß-Knoten* am größten aber auch bei der industriellen Variante nicht gering. Auch die Standardabweichung des „*Schnelsener*“ *Knotens* ist nicht gering.

Der Boxplot (Abb. 20) zeigt, daß die Ausreißer beim „*Schnelsener*“ *Knoten* eher im höheren Wertebereich liegen (siehe Pfeil Abb 20). Dieses ist auch beim *Roeder-Knoten* so.

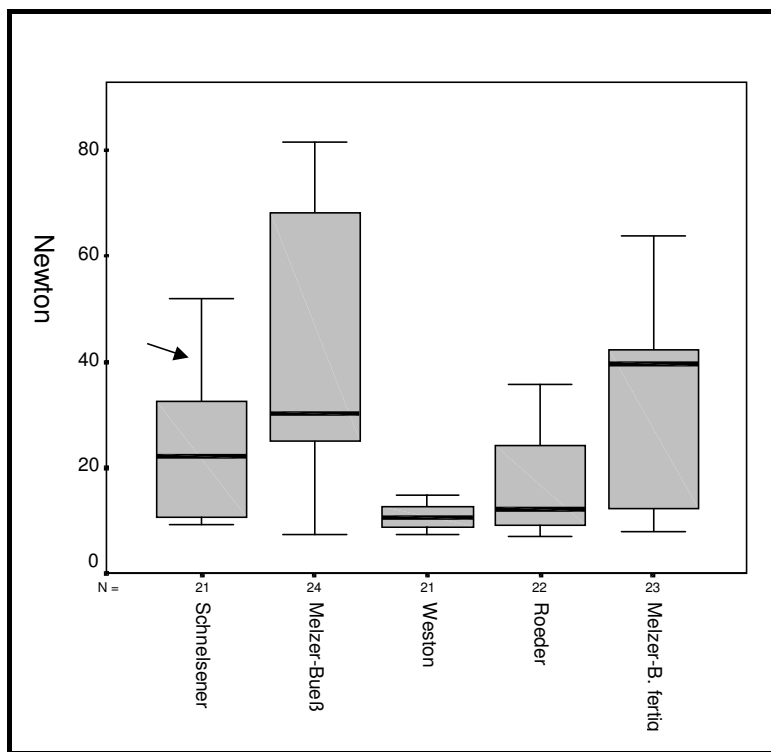


Abb. 20 Boxplot Darstellung der Knotenhaltekräfte

Die Varianz ist beim *Roeder-Knoten* nicht ganz so ausgeprägt wie beim „*Schnelsener*“ *Knoten*. Beide Knoten unterscheiden sich in der Haltekraft. Der mittlere Rang liegt beim „*Schnelsener*“ *Knoten* bei 25,9 während er beim *Roeder-Knoten* nur 18,3 beträgt (Abb. 22).

Der Kruskal-Wallis Test ist beim direkten Vergleich dieser beiden Knoten auf dem Niveau von 0,046 signifikant.

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	38.793
df	4
Asymptotische Signifikanz	.000

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: A

Ränge		
A	N	Mittlerer Rang
B 1	21	57.24
2	24	79.25
3	21	28.10
4	22	40.18
5	23	71.22
Gesamt	111	

Abb 21 Statistik für Testreihe 2

Abb. 22 Ränge Testreihe 2

Das Signifikanzniveau für alle fünf Knoten ist bei $p = 0,0005$ sehr hoch ! Dabei sind der *Roeder-Knoten* und der *Weston-Knoten* nicht signifikant verschieden.

3.3 Testreihe 3 : mit Fadenmaterial PDS® 0, trocken, vorgelegte Schlingen

Nr.	Schnelsener	Melzer Bueß	Weston	Roeder	MelBue-fertig
1	15,47	34,94	12,63	21,33	71,05
2	32,76	70,75	10,09	31,33	8,68
3	15,24	25,69	20,24	24,84	28,06
4	17,62	49,32	15,43	30,82	48,66
5	19,76	74,25	36,43	36,81	5,37
6	27,11	32,2	12,06	51,99	55,38
7	30,85	39,64	41,91	45,16	51,52
8	40,91	57,37	17,04	36,72	71,14
9	18,1	59,38	17,74	46,53	13,23
10	17,31	80,17	16,93	39,43	71,07
11	34,85	29,34	23,96	29,28	70,43
12	27,56	70,75	15,09	18,41	70,74
13	16,38	42,58	18,71	28,9	71,18
14	45,49	74,01	20,07	33,85	71,02
15	17,05	71,47	11,87	29,13	48,35
16	36,21	22,88	45,63	32,73	70,9
17	38,57	31,8	41,67	30,61	71,14
18	19,6	19,76	44,51	19,81	21,17
19	27,66	11,8	47,54	21,51	71,05
20	17,1	29,2	23,77	42,75	70,9
21	15,95	27,12	17,02		71,09
22		54,4	15,12		52,04
23		38,19	42,29		39,45
24			16,97		
25			20,55		
26			19,67		
x	25,31	45,52	24,04	32,60	53,20
± s	9,69	20,62	12,22	9,27	22,92

Tab. 3 Knotenhaltekräfte (Newton) in trockenem Zustand, Material PDS® 0, komplett vorgefertigte Schlingen, Mittelwerte und Standardabweichung

Die Messergebnisse dieser Testreihe demonstrieren wieder sehr gute Haltekräfte des *Melzer-Bueß-Knotens*. Auch bestätigen sich die Ergebnisse der ersten beiden Meßreihen bezüglich der Varianz sowohl des industriell gefertigten Knotens als auch des selbst geknüpften *Melzer-Bueß-Knotens*.

Den zweiten Rang nimmt bei diesem Fadenmaterial der *Roeder-Knoten* ein. Er ist in der Varianz nicht sehr ausgeprägt und somit konstant und sicher. Die Knotenkräfte liegen zwischen denen des *Melzer-Bueß-Knotens* und denen des „*Schnelsener*“ *Knotens*. Der *Weston-Knoten* ist nur wenig und nicht signifikant schwächer als der „*Schnelsener*“ *Knoten*, liegt mit einem Median von 19,19 N

erstaunlicher Weise aber deutlich über den Ergebnissen, die der *Weston-Knoten* in den beiden vorherigen Testreihen erzielt hat.

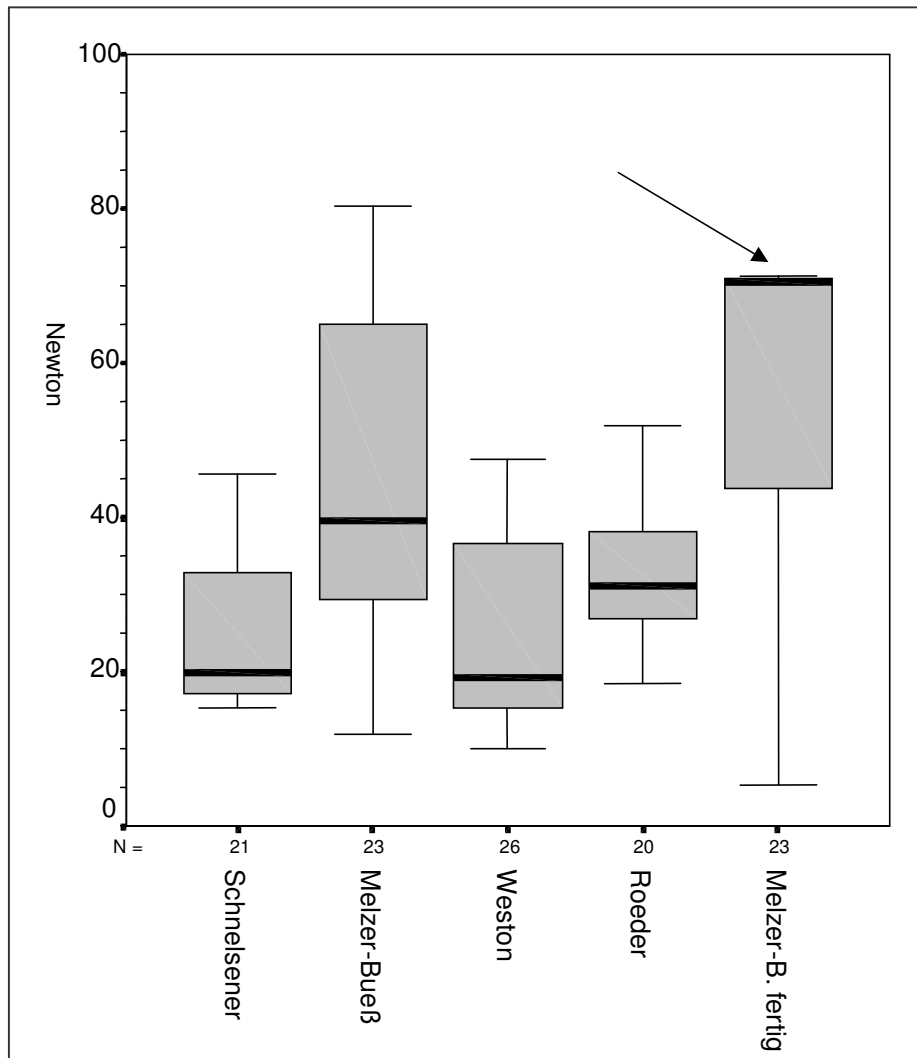


Abb.23 Boxplot Darstellung der Testreihe 2

Betrachtet man die Boxplot Darstellung (siehe Pfeil Abb. 23) so erkennt man eine Besonderheit des industriell gefertigten *Melzer-Bueß-Knotens*. Sowohl der Median als auch die oberen beiden Quartile befinden sich auf dem gleichen Niveau. Das bedeutet, daß die Hälfte aller Werte in etwa identisch sein müßen.

Daß dieses tatsächlich der Fall ist, erkennt man, wenn man die Werte des Knotens nach ihrer Größe ordnet (Tab. 4). Die Hälfte aller Werte

(Werte 12 bis 23 Tab. 4) liegen zwischen 70,43N und 71,18N . Das ist die Kraft, bei welcher der Faden reißt, wenn der Knoten nicht rutscht sondern komplett blockiert.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5,37	8,68	13,23	21,17	28,06	39,45	48,35	48,66	51,52	52,04	55,38	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
70,43	70,74	70,90	70,90	71,02	71,05	71,05	71,07	71,09	71,14	71,14	71,18

Tab. 4 Nach Größe geordnete Werte des *Melzer-Bueß-Knotens*

Bei dem von Hand geknüpften *Melzer-Bueß-Knoten* kommt dieses lediglich 6x vor, beim Roeder-, " Schnelsener"- und Weston -Knoten kommt das Blockieren gar nicht vor.

Die Berechnung der statistischen Unterschiede zwischen den Knoten ergibt, daß sich die Ergebnisse der einzelnen Knoten signifikant ($p = 0,0005$) unterscheiden. Siehe hierzu Abb. 24.

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	34.284
df	4
Asymptotische Signifikanz	.000
a. Kruskal-Wallis-Test	
b. Gruppenvariable: A	

Ränge			
	A	N	Mittlerer Rang
B	1	21	39.55
	2	23	72.98
	3	26	35.65
	4	20	57.70
	5	23	80.48
	Gesamt	113	

Abb. 24 Statistik für Testreihe 3

Abb. 25 Ränge Testreihe 3

Der Roeder Knoten hat höhere Haltekräfte als der „*Schnelsener*“ *Knoten*. Der Kruskal-Wallis Test ist hier auf dem Niveau von 0,012 signifikant.

Der „*Schnelsener*“ *Knoten* und der *Weston-Knoten* unterscheiden sich *nicht* signifikant.

3.4 Testreihe 4 : mit Fadenmaterial Vicryl® 0, trocken, vorgelegte Schlingen

Nr.	Schnelseener	Melzer Bueß	Weston	Roeder
1	22,26	37,55	13,13	45,82
2	24,5	40,62	17,47	45,63
3	15,5	19,83	14,18	34
4	25,8	26,05	17,95	47,71
5	29,18	23,82	15,78	23,84
6	27,08	39,76	19,71	34,09
7	17,36	53,47	17,05	20,08
8	18,4	36,02	11,59	28,44
9	41,77	30,02	14,56	30,73
10	19,31	31,35	18,83	34,36
11	53,23	23,89	17,28	25,6
12	28,89	50,51	13,45	28,97
13	21,67	32,21	14,83	35,29
14	31,45	29,63	16,59	30,71
15	29,09	70,97	20,17	26,94
16	29,11	47,13	24,13	33,43
17	27,41	22,26	16,71	30,85
18	29,09	31,66	17,83	30,27
19	21,43	19,34	20,93	36,57
20		41,86	14,25	46,9
x	26,98	35,40	16,82	33,51
± s	8,81	12,94	3,02	7,79

Tab. 5 Knotenhaltekräfte (Newton) in trockenem Zustand, Material Vicryl® 0, komplett vorgefertigte Schlingen, Mittelwerte und Standardabweichung

In dieser Meßreihe sind die Schlingen komplett vorgelegt und ohne Vorspannung in trockenem Zustand am Materialprüfgerät gezogen worden. Es wurde das Fadenmaterial Vicryl® der USP Stärke 0 verwendet. Eine industrielle Endloop® wurde nicht mitgetestet.

An der Größe der Standardabweichung läßt sich erkennen, daß der *Weston-Knoten* sehr konstant in seinen Zugeigenschaften ist. Die Varianz ist aber bei den übrigen Knoten auch nicht sehr ausgeprägt. Wie schon bei den vorherigen Testreihen haben die komplexeren Knoten wie der *Melzer-Bueß-Knoten* und der *Roeder-Knoten* die höchste Varianz.

In der Boxplot Darstellung (Abb. 26) sieht man, daß alle Knoten ausreichend sicher sind. Der niedrigste Wert beträgt 10 N und ist beim *Weston-Knoten* zu finden, der gegenüber allen anderen Knoten die geringsten Zugkräfte aufweist.

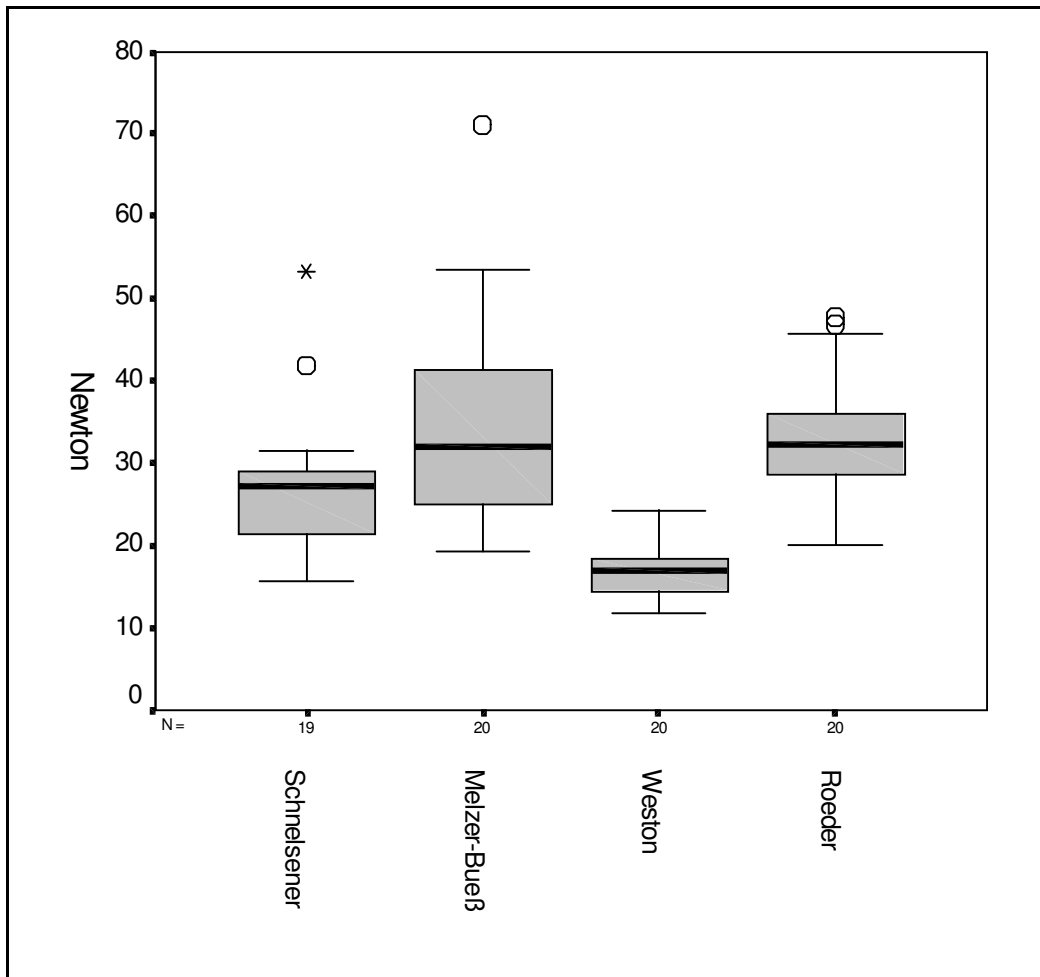


Abb. 26 Boxplot Darstellung der Knotenhaltekräfte in N

Der *Weston-Knoten* und der „*Schnelsener*“ *Knoten* zeigen die größte Konstanz der Werte. Beim „*Schnelsener*“ *Knoten* ist ein Extremausreißer mit sehr hoher Haltekraft zu verzeichnen. Hier hat der Knoten anfänglich gesperrt, ist aber letztlich dann doch gerutscht. Der *Melzer-Bueß-Knoten* hat einen Extremausreißer mit einem Wert von 70,97 N. Hier ist der Faden gerissen, weil der Knoten komplett blockiert hat.

Die Signifikanzberechnung ergibt für diese Testreihe wie bei den vorherigen Tests signifikante Unterschiede. Der p - Wert beträgt 0,0005 (siehe Abb. 27)

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	43.759
df	3
Asymptotische Signifikanz	.000

a. Kruskal-Wallis-Test
b. Gruppenvariable: A

Ränge			
	A	N	Mittlerer Rang
B	1	19	38.34
	2	20	54.33
	3	20	12.85
	4	20	54.40
	Gesamt	79	

Abb. 27 Statistik für Testreihe 4

Abb. 28 Ränge Testreihe 4

Die mittleren Ränge des *Melzer-Bueß-Knotens* und des *Roeder-Knotens* sind mit 54,33 bzw. 54,40 nahezu identisch. Beide Knoten unterscheiden sich statistisch nicht in ihren Haltekräften. Der mittlere Rang des „*Schnelsener*“ *Knotens* ist mit 38,34 signifikant höher als der des *Weston-Knotens*, der bei 12,85 liegt. Siehe hierzu die mittleren Ränge dargestellt in Abb. 28.

Die Unterschiede des *Melzer-Bueß-Knotens* und des *Roeder-Knotens* zum „*Schnelsener*“ *Knoten* sind nach dem Ergebnis des Kruskal-Wallis Test auf dem Niveau von 0,009 signifikant.

3.5 Testreihe 5 : mit Fadenmaterial PDS® 2-0, blutig, am Gerät zugezogen

Nr.	Schnelsener	Melzer Bueß	Weston	Roeder
1	50,55	15,38	50,46	20,9
2	42,6	63,19	31,3	12,89
3	35,14	34,02	9,3	41,16
4	51,99	60,38	28,77	3,01
5	53,85	13,44	39,67	24,88
6	51,91	25,1	49,18	16,4
7	55,64	47,2	58,09	6,96
8	72,01	54,85	45,46	18,33
9	26,38	55,87	34,59	53,85
10	55,51	8,53	52,78	16,99
11	48,79	57,11	43,45	51,04
12	51,44	6,37	18,47	14,64
13	47,15	16,19	31,68	52,92
14	34,64	24,43	55,11	31,46
15	9,92	26,87	4,24	39,3
16	35,51	34,58	44,84	39,71
17	55,25	17,81	63,12	49,39
18	49,94	56,64	62,9	20,24
19	26,05	46,03	10,51	49,05
20	71,01	60,54	7,3	
x	46,26	36,23	37,06	29,64
± s	14,92	19,75	18,90	16,77

Tab. 6 Knotenhaltekräfte (Newton) in blutigem Milieu, Material PDS®2 - 0, am Gerät zugezogen, Mittelwerte und Standardabweichung

Die Daten der Meßreihe 5 (Tab. 6) zeigen, daß auch hier alle verwendeten Knoten insgesamt sicher sind. Es treten allerdings zweimal Werte unter 5N auf was bedeutet, daß sich die Knoten, die ja mit 5 - 7 N angezogen wurden, sofort wieder gelockert haben. Man muß also feststellen, daß beim *Weston-Knoten* und beim *Roeder-Knoten* je ein Versager aufgetreten ist.

Die industriell gefertigte Endoloop® ist in dieser Meßreihe nicht mit gemessen worden.

Die Darstellung der Ergebnisse als Boxplot (Abb. 29) läßt sehr gut erkennen, daß alle Knoten insgesamt hohe Medianwerte zeigen, die Varianz aber stark und auch bei allen Knoten ähnlich ausgeprägt ist.

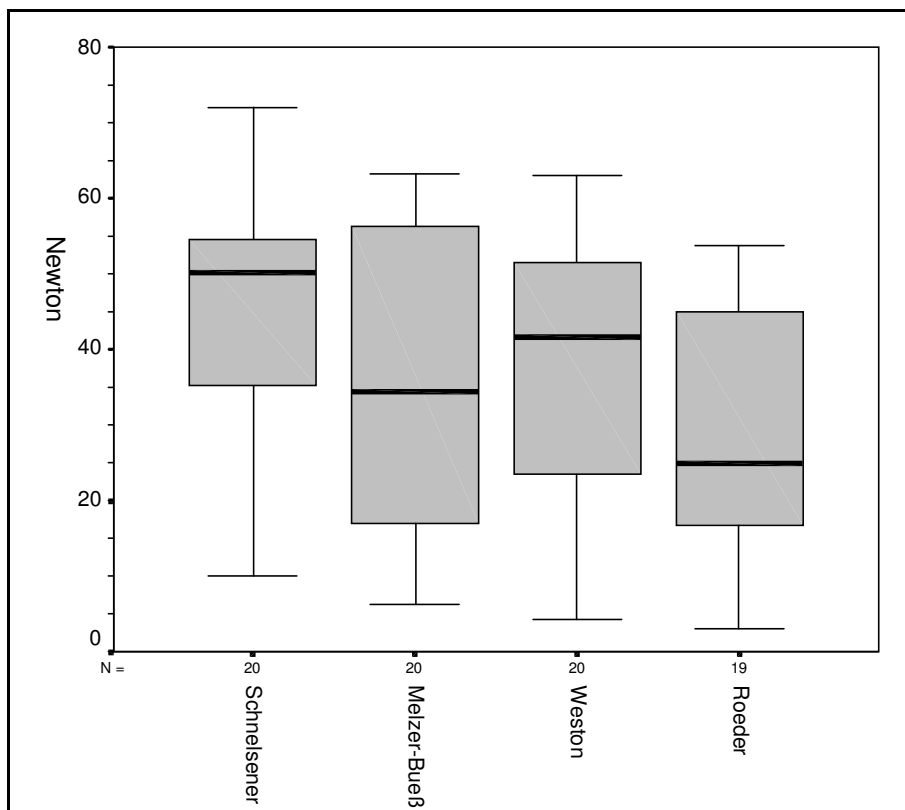


Abb. 29

Boxplot Darstellung der Testreihe 5

Ein signifikanter Unterschied bezüglich der Zugkräfte besteht zwischen den Knoten nicht. Der p - Wert beträgt 0,053 (siehe Abb. 30).

Sowohl bei der Betrachtung der Medianwerte (siehe Boxplot) als auch bei der der mittleren Ränge (Abb. 31) ist eine deutliche Tendenz zu erkennen.

Statistik für Test ^{a,b}	
	B
Chi-Quadrat	7.693
df	3
Asymptotische Signifikanz	.053
a. Kruskal-Wallis-Test	
b. Gruppenvariable: A	

Abb. 30 Statistik für Testreihe 5

Ränge			
	A	N	Mittlerer Rang
B	1	20	50.38
	2	20	39.70
	3	20	39.40
	4	19	30.03
	Gesamt	79	

Abb. 31 Ränge Testreihe 5

Hiernach liefert der „Schnelsener“ Knoten die höchsten Zugkräfte, hat aber auch die größte Streubreite. Die Werte des Melzer-Bueß-Knotens und des Weston-

Knotens sind sehr ähnlich und streuen auch ähnlich breit. Der *Roeder-Knoten* hat in dieser Meßreihe die niedrigsten Kraftwerte und streut auch am wenigsten.

3.6 Die Masse der Knoten

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Knotenarchitektur beinhalten die verschiedenen Knoten unterschiedliche Längen an Fadenmaterial, die sich im Gewicht des Knotens widerspiegeln.

Das jeweilige Knotengewicht ergibt sich aus der Messung von jeweils 28 Knoten pro Gruppe. Abbildung 32 zeigt die erhobenen Befunde für den *Weston-Knoten*, den „*Schnelsener*“ *Knoten*, den *Roeder-Knoten*, den *Melzer-Bueß-Knoten* und den industriell geflochtenen *Melzer-Bueß-Knoten*. Die Knotenmassen schwanken zwischen 80 und 266 mg je Gruppe mit 28 Knoten bzw. zwischen 2,86 mg und 9,5 mg für den Einzelknoten.

Eine Signifikanzberechnung wurde hier nicht durchgeführt, da es sich jeweils nicht um Einzelmessungen handelte, sondern alle Knoten einer Gruppe zusammen gemessen wurden. Somit entstanden fünf gemessene Werte, die miteinander verglichen werden können.

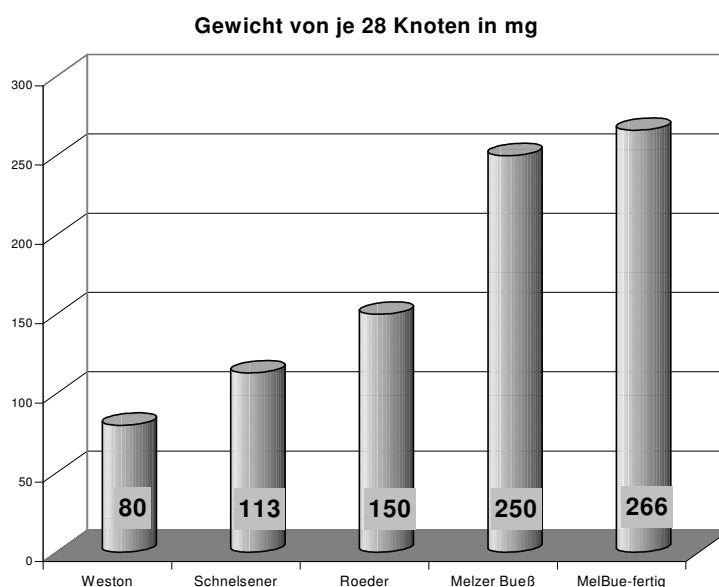


Abb. 32 Gewichte der verschiedenen Knoten

Der *Weston-Knoten* wiegt somit nur ein Drittel des *Melzer-Bueß-Knotens*, der „*Schnelsener*“ *Knoten* wiegt weniger als die Hälfte des *Melzer-Bueß-Knotens* und liegt im Gewicht ziemlich genau zwischen dem *Weston-Knoten* und dem *Roeder-Knoten*, der wiederum deutlich weniger wiegt als der *Melzer-Bueß-Knoten*.

Der selbst hergestellte *Melzer-Bueß-Knoten* unterscheidet sich mit 250/28 mg pro Einzelknoten nicht wesentlich vom industriell geflochtenen Knoten mit 266/28 mg.

4 Diskussion

4.1 Knotenarchitektur im Vergleich

Die Beschreibung der komplexen, laparoskopischen Gleitknoten, wie sie zum Beispiel von Weston für die minimal invasive Chirurgie entwickelt wurden (Weston, P.V. 1991), gelingt mit der o.a. Nomenklatur nur sehr unzureichend, weil es an Kürzeln für Touren um *beide* Stränge genauso fehlt, wie an Beschreibungsmöglichkeit von gekoppelten Umschlingungen.

Es gibt bisher keine Nomenklatur, die diese Art Knoten beschreibt. Dennoch ist ein beschreibende Betrachtung der Architektur möglich.

Vergleicht man die Architektur des *Melzer-Bueß-Knotens*, des *Roeder-Knotens*, des *Weston-Knotens* und des "*Schnelsener*" Knotens, so erkennt man Ähnlichkeiten zwischen den beiden erstgenannten und den beiden letztgenannten Knoten. Die Abbildung 33 zeigt die Architektur der vier Knoten im Vergleich.

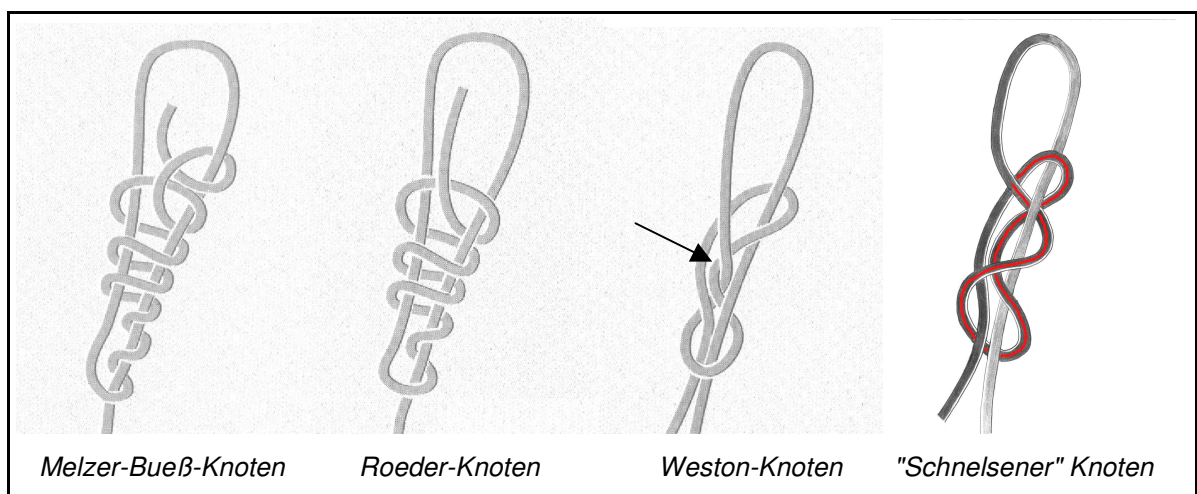


Abb. 33 Vergleichende Knotenarchitektur (Abbildung der ersten drei Knoten aus: Wattiez A. und Bruhat M.A. , 1998)

Es ist zu erkennen, daß der "*Schnelsener*" Knoten eine dominante, doppelte "Achter-Formation" aufweist.

Der *Weston-Knoten* läßt ebenfalls eine gewisse "Achter-Formation" erkennen, diese wird aber durch eine Umschlingung (siehe Pfeil) unterbrochen und umschließt den zentralen Strang auch nicht komplett.

Der *Melzer-Bueß-Knoten* und der *Roeder-Knoten* unterscheiden sich voneinander im Wesentlichen durch die Menge an Umschlingungen um den axialen Strang und die rückläufige Schlinge. Ein Verhindern des Zurückgleitens erfolgt bei beiden Knoten durch die Kompression beim Zuziehen des Knotens und die dann entstehenden hohen Reibungskräfte durch die häufigen Umschlingungen. Hierdurch erklärt sich, warum die Masse dieser beiden Knoten so groß sein muß. Die Haltekraft des *"Schnelsener" Knotens* wird, wie im Kapitel 2.5.1 beschrieben, primär durch die Änderung seiner Charakteristik unter Spannung erzeugt. Dadurch kann der Knoten bei wesentlich geringerem Volumen eine vergleichbare Haltekraft erzielen.

4.2 Meßergebnisse im Vergleich

4.2.1 Testreihe 1, Fadenmaterial Vicryl 0, blutiges Milieu, mit Vorspannung

Schon beim Vergleich der Mittelwerte (\bar{x}) ist ein deutlicher Unterschied in der Knotenhaltekraft zu erkennen. Tabelle 1 Seite 47 zeigt, daß der Mittelwert des *Melzer-Bueß-Knotens* am höchsten, der des *Weston-Knotens* am geringsten ist.

Die Boxplotdarstellung (Abb. 15, Seite 48) läßt für den *Melzer-Bueß-Knoten* und den *Roeder-Knoten* eine vergleichsweise hohe Varianz der Kräfte erkennen.

Hieraus kann gefolgert werden, daß die Varianz mit der Komplexität des Knotens zunimmt. Dieses ist erklärlich durch die zunehmende Kompliziertheit des Knotens und der dadurch bedingten Fehlermöglichkeit beim Knüpfen.

Die Haltekraft nimmt aber mit der Komplexität auch zu. Hier bildet der *„Schnelsener“ Knoten* eine Ausnahme, indem er in dieser Versuchsreihe sowohl in der Haltekraft als auch in der Varianz noch vor dem *Roeder-Knoten* an zweiter Stelle hinter dem *Melzer-Bueß-Knoten* rangiert.

Betrachtet man in der Boxplotdarstellung die minimal erreichten Kräfte, gewissermaßen die "schwächsten Glieder der Kette", so rangiert hier der

"Schnelsener" Knoten sogar noch vor dem *Melzer-Bueß-Knoten*. Die "Zuverlässigkeit" oder relative Knotensicherheit als Ausdruck einer geringen Varianz und hoher Minimalkraft ist in dieser Testreihe bei dem *"Schnelsener" Knoten* am höchsten. Am schlechtesten schneidet in dieser Hinsicht der *Roeder-Knoten* ab. Dies mag auch ein Grund dafür sein, daß in der Literatur immer wieder Varianten des *Roeder-Knotens* beschrieben werden, die eine höhere Haltekraft versprechen (Sharp H.T. et al. 1996). Sharp beschreibt für den *Roeder-Knoten* eine hohe Varianz von $18,0 \pm 12,1$ N ! Ein zusätzlicher halber Schlag verleiht dem Knoten eine deutlich höhere Sicherheit. In der darauffolgenden Publikation beschreiben Sharp et al. (Sharp H.T. et al. 1997) dann eine 4S - Variante des *Roeder-Knotens*, die mit dem *Melzer-Bueß-Knoten* identisch ist !

4.2.2 Testreihe 2, Fadenmaterial PDS 2-0, trockenes Milieu, Vorspannung

Auch diese Testreihe zeigt hochsignifikante Unterschiede bezüglich der Knotenhaltekräfte.

Es bestätigt sich das Ergebnis aus der Testreihe 1 in Bezug auf die Konstanz des *Weston Knotens*. Die Standardabweichung ist auch hier wieder am geringsten. Die Haltekraften sind mit einer mittleren Kraft von 10,53 N jedoch sehr gering! Der *Weston-Knoten* ist also auf sehr niedrigem Kraftniveau relativ konstant.

Die sehr guten Halteeigenschaften des *Melzer-Bueß-Knotens* werden auch bei dem glatten, monofilen Fadenmaterial der Stärke 2 - 0 bestätigt. Hier zeigt sich aber, für den Autor überraschend, daß auch in dem industriell gefertigten Knoten eine nicht geringe Varianz liegt. Die Standardabweichung von 17,16 N ist bei einem Mittelwert von 31,21 N doch beträchtlich.

Der „*Schnelsener*“ *Knoten* nimmt , wie auch in der Testreihe 1 (mit Material Vicryl 0) bezüglich der Haltekraften nach dem *Melzer-Bueß-Knoten* den zweiten Platz ein. Die Varianz ist auch hier nicht gering. Wenn man den dazugehörigen Boxplot (Abb. 20 Seite 51) betrachtet, sieht man jedoch, daß die Ausreißer eher im höheren Wertebereich liegen (siehe Pfeil Abb. 20). Dieses ist auch beim *Roeder-*

Knoten so. Die Varianz ist beim *Roeder-Knoten* nicht ganz so ausgeprägt wie beim „*Schnelsener*“ *Knoten*.

Beide *Knoten* unterscheiden sich in der Haltekraft signifikant. Der mittlere Rang beträgt beim „*Schnelsener*“ *Knoten* 25,9 , während er beim *Roeder-Knoten* nur 18,3 beträgt.

Der *Roeder-Knoten* unterscheidet sich im mittleren Rang kaum vom *Weston-Knoten*.

Aus Tab. 7 ist zu erkennen, daß alle *Knoten* bei glattem, monofilem Faden leichter zurückrutschen als bei geflochtenem Vicryl®.

Ein methodischer Vergleich der blutigen oder trockenen Messung ist aus dieser Konstellation heraus nicht möglich. Zumindest scheint die vermutete, bessere Gleitfähigkeit bei blutig-feuchtem Faden gegenüber den Effekten durch die Materialbeschaffenheit weit in den Hintergrund zu treten.

	Vicryl 0 <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>	PDS 2 - 0 <i>trocken</i> <i>Vorspannung</i>
„ <i>Schnelsener</i> “ <i>Knoten</i>	32,77	22,15
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i>	45,21	30,05
<i>Weston-Knoten</i>	15,01	10,61
<i>Roeder-Knoten</i>	29,48	11,94
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i> fertig	---	39,67
Testreihe	1	2

Tab. 7 Haltekräfte (Medianwerte in N) bei verschiedenen Fadenmaterialien
(siehe Boxplot Abb. 20 Seite 51 und Abb. 15 Seite 48)

Trimbos et al. fanden in ihrer Arbeit (Trimbos, J.B. et al. 1986), in der sie einfache Gleitknoten aus drei und fünf Schlägen jeweils mit monofilem Material und geflochtenen Fäden testeten, daß zwischen den verschiedenen Materialien - fast durchgehend durch alle *Knotentypen* - signifikante Unterschiede in der mittleren *Knotenhalte*kraft (engl. loop holding capacity) bestehen.

Auch Dorsey et al. konnten eine eindeutige Beziehung zwischen der *Knotenhalte*kraft und dem verwendeten Fadenmaterial herstellen

(Dorsey J.H. et al. 1995). Aus dieser Arbeit ist noch erwähnenswert, daß der *Roeder-Knoten*, der gegen fünf weitere Knoten getestet wurde, mit Abstand am schlechtesten abschnitt.

In einer früheren Publikation verglich Trimbos (Trimbos et al.1991) nach der Markteinführung des PDS - 2 verschiedene monofile Materialien und fand signifikante Unterschiede zwischen Prolene ® und Maxon ®, wobei mit Maxon ® die haltbareren Knoten geflochten wurden. PDS - 2 ® nahm einen mittleren Rang ein und war noch signifikant schwächer bezüglich der Knotenhaltekraft als Maxon ®.

Tera et Aberg testeten in ihrer Arbeit sowohl verschiedene Knotentypen als auch verschiedene Nahtmaterialien sowie verschiedene Fadenstärken (Tera, H. et Aberg, C. 1977) . Sie verwendeten Fäden der Stärke 7/0, 5/0, 0 und 2 und sahen, daß die Knoteneffizienz nicht so sehr von der Fadenstärke, als von dem Nahtmaterial und dem verwendeten Knotentyp abhängt.

Die vorliegenden Ergebnisse belegen in Übereinstimmung mit der Literatur, daß die Haltekräfte der Knoten wesentlich stärker vom Fadenmaterial als vom umgebenden Milieu abhängen.

Somit ist erklärlich, daß auch das blutige oder trockene Milieu in dem Einfluß auf die Knotenhaltekräfte scheinbar hinter dem verwendeten Fadenmaterial zurücksteht. Verwendet man verschiedene Fadenmaterialien so läßt sich zumindest bei einem solchen Versuchsaufbau ein Unterschied nicht darstellen.

4.2.3 Testreihe 3, Fadenmaterial PDS 0, trockenes Milieu, vorgelegte Knoten

Der *Melzer-Bueß-Knoten* blockiert in der industriell vorgefertigten Version in fast der Hälfte der Fälle komplett, so daß der Faden reißt, bevor der Knoten durchrutscht. Bei den „handgeknüpften“ *Melzer-Bueß-Knoten* geschieht dieses wesentlich seltener, bei den anderen drei Knoten überhaupt nicht.

Dieses Phänomen ist selbstverständlich ein Ausdruck besonders guter Knoteneigenschaften. Das Sperren oder Verriegeln des Knotens ist durchaus gewünscht. Man kann es in anderen Testreihen auch mit anderem Fadenmaterial

und bei anderen Knotentypen sehen.

Die dritte Testreihe zeigt eine Überlegenheit komplexer Knoten bei sperrigem, monofilen Fadenmaterial. Es muß einschränkend jedoch erwähnt werden, daß die Knoten in dieser Testreihe die Möglichkeit hatten, sich zu lockern, da sie ohne Spannung als fertige Schlingen transportiert wurden und auch ohne Vorspannung am Prüfgerät gezogen wurden.

Komplexere Knoten lockern sich dabei offensichtlich nicht so leicht, wie Knoten mit nur wenigen Umschlingungen. Siehe hierzu auch den Vergleich der Medianwerte in der Tab. 8 .

	<i>Vicryl 0</i> <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 2 - 0</i> <i>trocken</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 0</i> <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>
<i>„Schnelsener“ Knoten</i>	32,77	22,15	19,76
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i>	45,21	30,05	45,46
<i>Weston-Knoten</i>	15,01	10,61	19,19
<i>Roeder-Knoten</i>	29,48	11,94	31,08
<i>Melzer-Bueß-Knoten fertig</i>	---	39,67	70,43
Testreihe	1	2	3

Tab. 8 Haltekräfte (Medianwerte in N) bei verschiedenen Fadenmaterialien

Der PDS Faden Stärke 0 eignet sich für die Gleitknoten scheinbar sehr gut. Der *Weston-Knoten* erzielt mit diesem Faden sein bestes Ergebnis und auch die anderen Knoten erzielen hiermit hohe Kräfte. Die Ergebnisse übertreffen teilweise sogar die mit dem Vicryl - Faden erzielten Werte oder sind damit vergleichbar.

Brouwers et al. (Brouwers J.E. et al. 1991) beschreibt in seiner Arbeit, daß generell monofile Fäden leichter rutschen als geflochtene Fäden, mit Ausnahme von Vicryl® ! Unter den monofilen Materialien ergibt Maxon® die höchsten Kräfte gefolgt von PDS® und zuletzt Prolene®. Brouwers verwendete bei seinen Tests

allerdings noch das "alte" PDS® und nicht das PDS - II ®, welches nach Timbon wie bereits oben erwähnt noch bessere Eigenschaften bezüglich der Knotenkräfte hat. Als Fadendurchmesser wird die USP Stärke 3/0 beschrieben.

Auch Chua resümiert in seiner Arbeit über den *Roeder-Knoten* (Chua H.B. 1997), daß Seide und Polyamid , also geflochtene Fäden , unsicherer seien als Dacron, Lactomer und Polydiaxone (= PDS) .

Somit stehen die Ergebnisse der Tabelle yyx im Einklang mit der Literatur. Es ist durchaus möglich, obwohl prima vista anders vermutet, daß PDS - 2® der USP Stärke 0 höhere Knotenkräfte ermöglicht als Vicryl®.

Der "*Schnelsener*" *Knoten* profitiert von den Eigenschaften des relativ starren PDS - II® Fadens nicht. Hier hat der *Knoten* seine schlechtesten Ergebnisse. Dennoch ist der "*Schnelsener*" *Knoten* auch in dieser, seiner schlechtesten Meßreihe noch sehr sicher und zuverlässig. Betrachtet man die minimal erreichten Kräfte aller *Knoten* in diesem Test, so rangiert der "*Schnelsener*" *Knoten* fast gleich mit dem *Roeder-Knoten* auf dem zweiten Rang. Die kleinste, erzielte *Knoten*kraft beträgt beim "*Schnelsener*" *Knoten* 15,24 N !

4.2.4 Testreihe 4, Fadenmaterial Vicryl 0, trockenes Milieu, vorgelegte *Knoten*

	Vicryl 0 <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>	PDS 2 - 0 <i>trocken</i> <i>Vorspannung</i>	PDS 0 <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>	Vicryl 0 <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>
<i>„Schnelsener“ Knoten</i>	32,77	22,15	19,76	27,08
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i>	45,21	30,05	45,46	31,94
<i>Weston-Knoten</i>	15,01	10,61	19,19	16,88
<i>Roeder-Knoten</i>	29,48	11,94	31,08	32,14
<i>Melzer-Bueß-Knoten fertig</i>	---	39,67	70,43	---
Testreihe	1	2	3	4

Tab. 9 Haltekräfte (Medianwerte in N) bei verschiedenen Fadenmaterialien

Die Tab. 9 erlaubt nun erstmals einen Vergleich der medianen Knotenkräfte bei Zugversuchen unter trockenen oder blutig-feuchten Bedingungen. Vergleicht man die Testreihe 1 und 4 miteinander, so unterscheiden sich die beiden Versuche nicht mehr im verwendeten Fadenmaterial sondern dadurch, daß im Versuch 1 die Knoten im blutigen Milieu mit einer definierten Vorspannung von 5 bis 7 Newton am Prüfgerät festgezogen wurden, während im Versuch 4 die Schlingen trocken und ohne Vorspannung gezogen wurden. Zwar sind die Knoten auch hier mit einer definierten Spannung ($1 \text{ Kp} \sim 9,81 \text{ N}$) geknüpft, hinterher aber bis zur Befestigung am Prüfgerät ohne Spannung gehandhabt worden.

Der Vergleich der Medianwerte ergibt, daß im Versuch 1 ein über alle vier geprüften Knoten durchschnittlicher Medianwert von 30,5 N erreicht wurde, während dieser im Versuch 4 27,01N beträgt. Es scheint so zu sein, daß die Vorspannung beim *"Schnelsener" Knoten* und beim *Melzer-Bueß-Knoten* zu höheren Werten führt. Die postulierte, erhöhte Gleitfähigkeit durch ein blutig-feuchtes Milieu scheint zumindest bei diesem Fadenmaterial keine großen Auswirkungen auf das Meßergebnis zu haben.

Diese Aussagen sind allerdings nicht statistisch gestützt und bedürfen einer exakten, darauf ausgelegten Untersuchung.

Insgesamt sind die Ergebnisse aus Messung 1 und 4 vergleichbar.

Der *„Schnelsener“ Knoten* ist signifikant schwächer als der *Melzer-Bueß-Knoten* und der *Roeder-Knoten*, aber kräftiger als der *Weston-Knoten*.

Alle Knoten sind ausreichend sicher, *Roeder-* und *Melzer-Bueß-Knoten* sind auf hohem Niveau sehr inkonstant, während auch in dieser Testreihe der *Weston-Knoten* und der *„Schnelsener“ Knoten* eine relativ große Konstanz zeigen. Siehe hierzu auch die Boxplot Darstellung Abb. 26 Seite 56.

4.2.5 Testreihe 5, Fadenmaterial PDS 2-0, blutiges Milieu, Vorspannung

Vergleicht man diese Meßreihe mit den vorherigen Ergebnissen, so ist deutlich, daß diese Meßreihe insgesamt höhere Werte zeigt als die Meßreihe 2. Die beiden Messungen unterscheiden sich technisch aber lediglich hinsichtlich des blutigen oder trockenen Milieus voneinander. Beide Meßreihen verwenden das selbe

Fadenmaterial und bei beiden Messungen wurde die Schlinge unter definierter Spannung am Prüfgerät zugezogen.

Besonders deutlich ist der Unterschied beim *Weston-Knoten* und „*Schnelsener*“ *Knoten* und am wenigsten ausgeprägt ist der Unterschied beim *Melzer-Bueß-Knoten*. Hier scheint es so zu sein als ob der komplexeste Knoten am wenigsten und der einfachste am meisten von dem Unterschied "profitiert" (siehe Tab. 10).

	<i>Vicryl 0</i> <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 2 - 0</i> <i>trocken</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 0</i> <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>	<i>Vicryl 0</i> <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>	<i>PDS 2 - 0</i> <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>
„ <i>Schnelsener</i> “ <i>Knoten</i>	32,77	22,15	19,76	27,08	50,25
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i>	45,21	30,05	45,46	31,94	34,30
<i>Weston-Knoten</i>	15,01	10,61	19,19	16,88	41,56
<i>Roeder-Knoten</i>	29,48	11,94	31,08	32,14	24,88
<i>Melzer-B.-Knoten</i> fertig	---	39,67	70,43	---	---
Testreihe	1	2	3	4	5

Tab. 10 Haltekräfte (Medianwerte in N) bei verschiedenen Fadenmaterialien

Unerwartet war für den Autor auch, daß die Haltekräfte in blutig - feuchtem Milieu *zunehmen* und nicht , wie prima vista erwartet, *abnehmen*. Anscheinend erhöht das umgebende Blut die Reibungskräfte. Da der Unterschied augenfällig so stark bei dem PDS-2 ® Faden der USP Stärke 2/0 zu Tage tritt, ist es möglich, daß die Eigenschaften dieses Materials sich besonders stark ändern. Denkbar wäre zum Beispiel ein "Quellen" der Fadenoberfläche oder ein Erweichen des relativ dünnen Fadens.

Der Einfluß der Oberfläche steht in einem proportionalen Verhältnis zur Fadendicke. Das heißt, daß je dünner der Faden ist, desto größer ist der Einfluß der Oberfläche auf seine Knotungseigenschaften.

Nach den Ausführungen zur Knotenarchitektur und zu den Charakteristika des "*Schnelsener*" *Knotens* unter Spannung (siehe Seite 27 bis 30) ist auch erklärlich, daß der Knoten bei dünnen und flexiblen Fäden leichter blockiert als bei dickem, starren Fadenmaterial.

Ähnliches gilt auch für den *Weston-Knoten*, nicht aber für die beiden übrigen Knoten.

Die Boxplot Darstellung (Abb. 29 Seite 59) läßt gut erkennen, daß alle Knoten insgesamt hohe mediane Kräfte ergeben. Die Varianz ist bei allen Knoten ausgeprägt, bei denen mit den höchsten Kräften aber, wie auch bei den anderen Meßreihen schon zu beobachten, am größten. Alle Knoten in dieser Meßreihe sind ausreichend sicher, es werden aber 2 "Versager" registriert. Beim *Roeder-Knoten* und beim *Weston-Knoten* kommen je ein Wert mit 3,01 N und 4,24 N vor. Tendenziell ergeben sich für den „*Schnelsener*“ *Knoten* die höchsten Zugkräfte der Unterschied ist aber nicht signifikant ($p = 0,053$) .

4.3. Knotenmasse im Vergleich

Wie zu erwarten war, ist die Knotenmasse direkt proportional zur Komplexität der Knoten. Es zeigt sich eindeutig, daß der *Weston-Knoten* die geringste Masse und der *Melzer-Bueß-Knoten* die höchste Masse hat.

Der „*Schnelsener*“ *Knoten* wiegt weniger als die Hälfte des *Melzer-Bueß-Knotens* und liegt bezüglich des Gewichtes ziemlich genau zwischen dem *Weston-Knoten* und dem *Roeder-Knoten*, der wiederum deutlich weniger wiegt als der *Melzer-Bueß-Knoten*.

Bei identischem Material ist gegeben, daß die Masse direkt proportional zum Volumen ist . Dieses wird auch offensichtlich, wenn man das unten stehende Bild (Abb.34) betrachtet. Hier sind je zwei Knoten zum Größenvergleich nebeneinander fotografisch abgebildet.

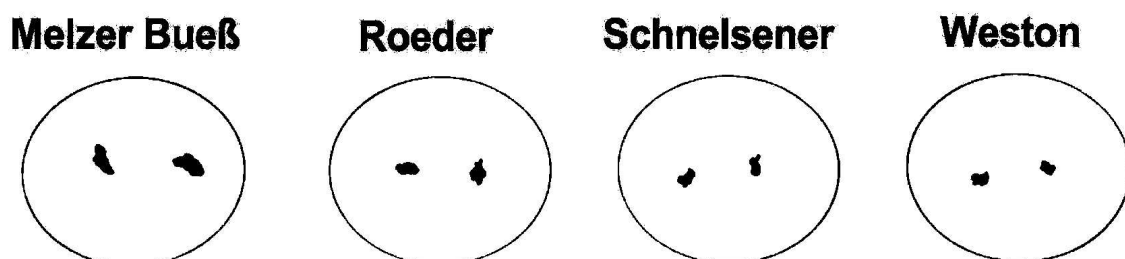


Abb. 34 Isolierte Knoten im optischen Größenvergleich

Trimbos, Brohim und van Rijssel (Trimbos J.B., Brohim R. , van Rijssel E.J. , 1989) testeten sieben verschiedene, in der Chirurgie übliche Knoten. Sie verwendeten dabei zwei verschiedene Nahtmaterialien (monofil und geflochten) sowie zwei verschiedene Stärken. Sie konnten zeigen, daß das Knotenvolumen deutlich stärker von dem verwendeten Material als von den verwendeten Knoten abhängt. Außerdem zeigten sie, daß das Knotenvolumen direkt proportional zu dem gesamten Aufkommen an entzündlichen Reaktionen um einen Knoten herum ist.

Die Empfehlung der Autoren lautet deshalb, Techniken zu verwenden, die das Knotenvolumen so gering wie möglich halten.

Dieser Empfehlung schließen sich auch Israelsson und Jonsson in ihrer Publikation über selbstblockierende Knoten an (Israelsson L.A., Jonsson T., 1994).

4.4 Praktikabilität der Knoten im Vergleich

Der Weston Knoten ist sehr einfach zu knüpfen. Er diente daher als Vorbild für die Entwicklung des "*Schnelsener*" Knotens. Beide Knoten können sehr schnell erlernt werden, wobei beim "*Schnelsener*" Knoten lediglich streng darauf geachtet werden muß, daß er beim Zuziehen nicht bereits blockiert. Der *Weston-Knoten* ist in dieser einen Hinsicht einfacher zu handhaben.

Der *Melzer-Bueß-Knoten* und der *Roeder-Knoten* sind deutlich komplexer und sowohl komplizierter zu erlernen als auch schwieriger zu legen.

Das wird schon dadurch deutlich, daß mehrere Arbeiten veröffentlicht wurden, die sich ausschließlich damit beschäftigen, den *Roeder-Knoten* einfacher knüpfen zu können (Croce E., Olmi S. 1977). Chua benutzt zum Beispiel ein dreibeiniges Plastikteil, welches normalerweise den Pizza-Drives dient, um die Pizza in ihrer Schachtel zu stabilisieren (Chua H.B. 1997)!

Zhilin beschreibt eine modifizierte, vereinfachte Knüpftechnik des *Roeder-Knotens*, die es aber erforderlich macht, einen zusätzlichen, intrakorporal gelegten

Konterknoten zu legen, der ein Zurückgleiten vollends verhindert. (Zhilin, O.V. 1996)

Den *Roeder-* oder *Melzer-Bueß-Knoten* im Halbdunkel einer laparoskopischen Operation zu legen, erscheint schwer möglich.

Der "*Schnelsener*" *Knoten* hingegen kann sogar in völliger Dunkelheit geknüpft werden, da jede Phase taktil geführt werden kann. Es entfällt daher das, bei der Laparoskopie lästige, Ändern der Beleuchtung bei diesem Knoten ganz, was die Benutzung des Knotens nicht nur komfortabler sondern auch schneller macht.

Die Schnelligkeit ist ein weiterer Gesichtspunkt der Praktikabilität. Je komplexer und komplizierter ein Knoten ist, desto länger dauert es auch, ihn zu knüpfen. Der zeitliche Unterschied zwischen dem Legen eines "*Schnelsener*" *Knotens* und dem *Melzer-Bueß-Knoten* beträgt bei einem geübten Operateur zwar lediglich einige Sekunden (durchschnittlich 8 versus 15 Sekunden bei grob orientierenden Messungen) , wird aber dann relevant, wenn ein ungeübter Operateur die Knoten legt.

Die Schnelligkeit, mit der ein Knoten knüpfbar ist, geht sogar in den von Hanna (Hanna G. B. 1997) beschriebenen "Performance Quality Score" (PQS) ein. Dieser wird von dem Quotienten aus dem "Knot Quality Score" (KQS) und dem "Executing Time Score" gebildet . Ist also ein Maß für die "Fertigungsqualität" in die sowohl die Knotenqualität als auch die Fertigungsgeschwindigkeit eingehen. Der "Knot Quality Score" ist wiederum der Quotient aus der Kraft, die benötigt wird um einen Knoten zum Zurückgleiten oder Reißen zu bringen und der Kraft, die man braucht, um den nicht geknoteten Faden zu zerreißen.

4.5 Knotensicherheit im Vergleich

Ob ein Knoten sicher und zuverlässig den Zweck erfüllt, für den er verwendet werden soll, ist im Einzelfall natürlich von dem speziellen Zweck abhängig.

Ginge man davon aus, daß ein Knoten nur eine definierte Spannung halten soll, um ein Blutgefäß zu unterbinden, so reicht nach den Untersuchungen von Nathanson (Nathanson L.K., Nathanson P.D., Cuschieri A, 1991) für ein 3 mm durchmessendes Gefäß mit einem Innendruck von 150 mmHg eine Kraft von weniger als 5g aus. Das entspricht 0,049 N !

Nathanson errechnet diese Kraft nach der Formel :

$$T = 3/2 \text{ pr } \delta$$

Diese Formel ergab eine gute Korrelation bei seinen in vitro Testungen. T steht für die Zugspannung der Ligatur, p entspricht dem intravasalen Druck und r ist der Radius des Gefäßes am Ort "delta" .

Nathanson fand für trockene Chromcat Schlingen, die mit dem *Roeder-Knoten* geknüpft waren, Haltekräfte zwischen minimal 2,21N und maximal 26,49 N.

Legt man nun die 0,049 N zugrunde, die zum Verschuß eines 3 mm durchmessenden Gefäßes bei 150 mmHg Innendruck benötigt werden, so errechnet sich ein minimaler Sicherheitsfaktor für die Roederschlinge von 45 : 1! Demnach wären alle, auch noch so schwachen Knoten ausreichend sicher.

In vivo hat man es jedoch selten mit isolierten Gefäßen zu tun. Hier spielt auch die Spannung des umgebenden Gewebes eine große Rolle. Zudem dämpft das umgebende Gewebe den Druck auf die Gefäße und oft sind in einer Ligatur mehrere Gefäße gleichzeitig vorhanden. Die Knotenkräfte müssen auch zusätzlicher mechanischen Belastung standhalten, um nicht bei jeder Manipulation am Gewebe sofort abzurutschen.

Ein Maß für die erforderliche Knotenkraft ist somit unmöglich zu *berechnen*.

Shimi (Shimi S.M. et al.1994) folgert aus diesen Untersuchungen, daß bei einem Gefäßdurchmesser von 9,0 mm und einem Blutdruck von bis zu 200 mmHg eine

minimale Ligaturkraft von 1,2 N nötig ist.

Fordert man nun eine dreifache Sicherheit für die in vivo Anwendung, so dürften Kräfte von 5.0 N nicht unterschritten werden!

Entscheidend für die Knotensicherheit sind somit vor allem die minimal gemessenen Werte unter den verschiedenen Bedingungen. Werte unter 5,0 werden deshalb als " Versager " bezeichnet. Die Anzahl der Versager wäre dann ein relatives Maß für die Knotensicherheit.

Tabelle 11 gibt eine Zusammenstellung der Versager in den verschiedenen Messreihen wieder.

Die einzigen Knoten, die ganz ohne Versager geblieben sind, waren der industriell gefertigte *Melzer-Bueß-Knoten* und der "*Schnelsener*" Knoten. Es ist allerdings kritisch anzumerken, daß es sich hierbei um technische Fehler beim Knüpfen der Knoten gehandelt haben kann. Die Versager sind insgesamt sehr selten vorgekommen.

Dennoch muß noch einmal darauf verwiesen werden, daß die Knoten in Meßreihe 1 und 5 mit 5 - 7 N am Gerät festgezogen wurden. Sie müßen sich also sofort bei Beginn der Messung komplett gelockert haben !

	<i>Vicryl 0</i> <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 2 - 0</i> <i>trocken</i> <i>Vorspannung</i>	<i>PDS 0</i> <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>	<i>Vicryl 0</i> <i>trocken</i> <i>vorgelegt</i>	<i>PDS 2 - 0</i> <i>blutig</i> <i>Vorspannung</i>
<i>„Schnelsener“ Knoten</i>	0	0	0	0	0
<i>Melzer-Bueß-Knoten</i>	0	0	1 x 5,37 N	0	0
<i>Weston-Knoten</i>	0	0	0	0	1
<i>Roeder-Knoten</i>	1	0	0	0	1
<i>Melzer-B.-Knoten fertig</i>	---	0	0	---	---
Testreihe	1	2	3	4	5

Tab. 11 Anzahl der gemessenen Werte unter 5,0 N

Babetty et al. (Babetty Z. et al. 1998) untersuchten in ihrer Arbeit verschiedene , alternierende Gleitknoten, also solche, die nicht für laparoskopische,

extrakorporale Knotung entwickelt waren, sondern solche, bei denen der zentrale Strang wechselt. Diese Knoten sollen üblicherweise komplett blockieren.

Von Babetty und anderen (Sanz L.E. et al. 1988 ; Zimmer C.A. et al. 1991) wird die Knotenkraft als " Knot Holding Capacity "

(KHC) bezeichnet. Diese KHC ausgedrückt in Prozent der Fadenreißfestigkeit wird als *relative Knotensicherheit* bezeichnet.

Babetty definiert einen Knoten als sicher, wenn er eine relative Knotensicherheit von mehr als 90 % aufweist.

Dieses Kriterium konnten nur gegenläufig geknüpft Knoten mit 4 Schlägen oder mehr erfüllen.

Sharp und Dorsey (Sharp H.T. ; Dorsey J.H. et al. 1996) fanden bei dem Vergleich eines intrakorporal gelegten, gegenläufigen Schifferknoten, der aus vier ganzen Schlägen bestand, mit verschiedenen laparoskopischen Gleitknoten, daß der Schifferknoten in jedem Fall kräftiger war. Dabei waren die gemessenen Knotenkräfte und die Varianz für den *Weston-Knoten* ($7,28 \pm 7,96 \text{ N}$), den *Roeder-Knoten* ($15,77 \pm 7,02$) und einen *modifizierten Roeder-Knoten* ($19,86 \pm 9,30 \text{ N}$) in ihrer Relation zueinander entsprechend unseren Ergebnissen.

Die absoluten Werte sind jedoch bei Sharp und Dorsey niedriger. Dieses könnte unter anderem auch an dem verwendeten Fadenmaterial (Dacron ® Stärke 0) liegen. Der intrakorporale Kontrollknoten ergab eine mediane KHC von $41,21 \pm 2,69 \text{ N}$.

Für die Knotensicherheit ist aus all diesen Untersuchungen zu schließen, daß es kein absolutes Maß für die Knotensicherheit gibt. Bei vergleichenden Untersuchungen gibt es Hinweise, daß zur Ligatur auch größerer Gefäße keine sehr hohen Kräfte nötig sind. Die untersuchten, laparoskopischen Gleitknoten erfüllen hierfür sicher die Voraussetzungen. Zur Approximation von unter Spannung stehendem Gewebe sind Schifferknoten bei der offenen Laparotomie der Goldstandard. Die einzige Möglichkeit bei der Laparoskopie, unter stärkerer Spannung stehendes Gewebe zu vereinigen, besteht in der Verwendung von kräftigen laparoskopischen Gleitknoten, da intrakorporal gelegte Knoten laparoskopisch nicht unter Spannung geknüpft werden können.

Nach den vorgelegten Daten eignen sich hierfür sowohl der *Melzer-Bueß-Knoten* als auch der *"Schnelsener" Knoten*. Der *Weston-Knoten* und der *Roeder-Knoten* sind für diesen Anwendungsbereich zu unsicher.

4.6 Einfluß von Milieu, Vorspannung und Fadenmaterial

Die Frage, ob das Milieu (trocken oder blutig-feucht) einen Einfluß auf die Gleiteigenschaften eines Knotens hat und ob dieser Einfluß bei verschiedenen Fadenmaterialien unterschiedlich ist, läßt sich aus der verfügbaren Literatur nicht beantworten. Zu dieser Fragestellung gibt es bisher keine systematischen Untersuchungen.

In der hier vorgestellten Untersuchung unterscheiden sich zwei Meßreihen lediglich durch das Milieu, in dem die Knoten gezogen wurden (Meßreihe 2 vs. 5). Es ergibt sich ein unerwartetes Phänomen indem die Zugkräfte bei blutiger Messung höher sind als in trockenem Milieu. Siehe hierzu auch die Ausführungen in der Diskussion der Testreihe 5. Dieses Phänomen ist wohl auch abhängig vom Material, wobei der dünne PDS® - Faden am stärksten "profitiert".

Beim Vicryl® 0 ist zwar auch bei einigen Knoten unter blutiger Messung ein Kraftzuwachs zu verzeichnen, jedoch unterscheiden sich die Meßreihen 1 und 4 auch noch durch die Spannung, mit der die Schlingen am Prüfgerät angelegt wurden, so daß dieser Effekt auch durch die Vorspannung erzeugt sein könnte. Wie bereits in der Methodenkritik (Kapitel 2.9.6) erwähnt, ist diese Arbeit nicht dafür konzipiert, solche methodischen Phänomene zu klären. Hierfür bedarf es einer weiteren Untersuchung.

Wichtig scheint aber, daß in dieser Untersuchung die Knotenkräfte unter den möglichen Bedingungen gemessen wurden und somit gezeigt werden konnte, daß der *"Schnelsener" Knoten* unter all diesen Bedingungen ein sicherer Knoten ist. Unter den Bedingungen, die der Autor als am ehesten physiologisch und den in vivo Bedingungen am nächsten kommend betrachtet, ist der *"Schnelsener" Knoten* der Knoten mit den höchsten Kräften und der niedrigsten

Standardabweichung . Diese Bedingungen sind mit Messung in blutigem Milieu und unter direkt am Meßgerät angelegter , definierter Vorspannung in der Testreihe 5 (siehe Seite 58) erfüllt.

4.7 Kostenanalyse

Bei dem hier vorgestellten System aus extrakorporal knüpfbarem Knoten und Knotenschieber werden gebräuchliche Fäden mit und ohne Nadel verwendet. Es kommen alle denkbaren Fäden in allen Stärken über 4-0 zum Einsatz. Somit kann für jeden Zweck das exakt passende Fadenmaterial verwendet werden.

Vergleicht man die Kosten der verschiedenen Systeme, so ist zu bedenken, daß die Fäden für die konventionelle, offene Chirurgie in großer Stückzahl eingekauft werden, was sich kostensenkend auswirkt. So kostet 1 Faden resorbierbaren Materials (Bondek 0) 2,35 DM.

Der Knotenschieber ist ein leicht zu reinigendes, wiederverwendbares Instrument ohne bewegliche Teile und somit ohne Abnutzung. Er kann über Jahre verwendet werden und kostet in der Anschaffung 400,- DM. Die Wartungs- und Reparaturkosten sind mit 10 % des Anschaffungspreises pro Jahr sehr großzügig bewertet.

Die Kosten für Reinigung und Sterilisation sind sehr gering, werden hier der Vollständigkeit halber aber erwähnt und mit ca. 6,- DM pro Operation beziffert. Diese sind nach Sterilisationseinheiten (STE) berechnet, die Zerlegen, Reinigung, Pflege und Zusammenbau der Instrumente beinhalten. Die STE für den Knotenschieber beträgt maximal 10 Minuten, was einem Preis von ca. 6,- DM entspricht.

Bei 250 endoskopischen Operationen jährlich und je zwei Anwendungen des Systems pro Operation ergeben sich also Jahres-System-Kosten von 2715,- DM.

Dazu kostet im Vergleich eine industriell gefertigte Schlinge mit einem resorbierbaren Faden 26,79 DM pro Stück (Preise Jahr 2000 incl. MWSt).

Es fallen, da es sich um ein Einmalinstrument handelt keine Wartungs- und Sterilisationskosten an. Die Jahres-System-Kosten betragen hier 14.895,- DM. Klammernahtgeräte und andere Systeme zur Unterbindung oder Gewebsapproximation sind noch wesentlich kostenintensiver.

Um Gewebe nur blutungsfrei zu durchtrennen ohne es in irgendeiner Form zu vereinigen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Exemplarisch seien hier nur zwei Systeme genannt. Die wohl teuerste Version stellt ein Klammer-Schneidegerät (Endostapler) dar. Das nicht resterilisierbare Gerät kostet mit einer Ladeeinheit 868,84 DM. Eine zusätzliche Nachladeeinheit kostet 43,50 DM. Somit kostet eine Operation mit zwei Anwendungen 912,34 DM, was einem Kostenaufwand von 228.085,- DM pro Jahr entspricht. Man darf bei dem Kostenvergleich nicht außer Acht lassen, daß bei *einer* Endostapleranwendung unter Umständen *mehrere* Ligaturen mit extrakorporaler Knotung notwendig wären. Das spielt allerdings bei Kosten von 2,35 DM pro Faden für die Kostenkalkulation keine Rolle. Außerdem kann ein Faden, wenn er lang genug ist, für bis zu vier Knotungen verwendet werden.

Die Kostenersparnis durch eine verkürzte Operationszeit muß allerdings in die Kalkulation einfließen. Die Angaben für Kosten pro OP - Stunde variieren stark. Ein realistischer Wert ist nach hauseigenen Angaben 1000,- DM pro Stunde. Sparte man mit der Endostapler-Methode pro Operation 15 Minuten Operationszeit ein (eine rein fiktive Größe !), reduzierten sich die Jahreskosten um 62.500,- DM. Dadurch ergäben sich bereinigte System-Jahres-Kosten von 165.585,- DM im Vergleich zu 2.715,- DM bei der extrakorporalen Knotung mit Verwendung des Knotenschiebers.

Das zweite zu diskutierende System wäre die bipolare Koagulation mit Hochfrequenzstrom. Auf den ersten Blick scheint dieses System sehr kostengünstig. Bei näherer Betrachtung ergeben sich deutlich höhere Kosten für die Anschaffung einer bipolaren, wiederverwendbaren Zange (oder Pinzette) von 2780,- DM. Dieses Instrument besteht aus mehreren Teilen (Kabel, Griffstück, Außenrohr, Isolationsrohr, Faßinstrument), die teilweise bewegliche Mechaniken beinhalten. Es unterliegt, obwohl es ein sehr hochwertiges Instrument ist, einem hohen Verschleiß. Reparatur- und Wartungskosten von 50 % der Anschaffungskosten pro Jahr sind zu veranschlagen. Das sind 1390,- DM / Jahr.

Das Instrument muß zur Aufbereitung nach jeder Operation komplett zerlegt, und wegen der langen und feinen Hohlräume aufwendig gereinigt werden. Die STE für dieses Instrument beträgt 30 Minuten, was einem Kostenfaktor von 18,- DM entspricht. Es ergeben sich (ohne die Amortisation des Hochfrequenzstrom-Gerätes) Jahres-System-Kosten von 5.890,- DM.

Selbstverständlich hat die Koagulation ihren eigenen Indikationsbereich. Bei kleineren Blutungen oder Gewebsdestruktionen wird hauptsächlich die bipolare Koagulation eingesetzt. Somit werden oft beide Systeme gleichzeitig verwendet. Dieses ist bei den geringen Kosten beider Systeme auch gerechtfertigt.

5 Zusammenfassung

Es wurde ein neuer, selbst verriegelnder Gleitknoten zur extrakorporalen Knotung für die minimal invasive Chirurgie entwickelt, beschrieben und mit den drei in Deutschland gebräuchlichsten, laparoskopischen Gleitknoten verglichen. Verschiedene, resorbierbare Fadenmaterialien in verschiedener Stärke wurden untersucht.

Gemessen wurden die Zugkräfte, die nötig waren, um eine geknotete, zugezogene Schlinge wieder aufgleiten zu lassen. Die Messung erfolgte unter standardisierter Knotenlegekraft mit unterschiedlicher Methodik an einem Materialprüfgerät.

Auch das Gewicht der Knoten wurde gemessen, welches als Maß dafür gilt, wieviel Fremdmaterial beim Knoten in den Körper eingebracht wird.

Weiterhin wurde bewertet, wie leicht und gut reproduzierbar der Knoten zu legen ist und wie hoch die Streubreite der Knotenkräfte war.

Diese Varianz ist neben den minimalen Knotenkräften auch ein Maß für die Sicherheit der Knoten.

Der Vergleich des neuen „*Schnelsener*“ Knotens mit dem „Melzer-Bueß“ Knoten, dem „Weston“ Knoten und dem „Roeder“ Knoten ergibt, daß der Melzer-Bueß Knoten kompliziert zu legen ist, das weitaus größte Knotengewicht hat und auch bei den industriell gefertigten Knoten (Firma Ethicon) eine hohe Streubreite zeigt. Der Melzer-Bueß Knoten hält aber in fast allen Versuchen die höchsten Kräfte und hat ein sehr gutes Gleitverhalten.

Der Weston Knoten ist sehr schnell und einfach zu legen und wohl auch deswegen bzw. wegen seiner einfachen Struktur relativ konsistent in seinem Zugverhalten. Er hat das niedrigste Gewicht und eignet sich für alle Fadenmaterialien. Von allen geprüften Knoten hat der Weston Knoten jedoch die niedrigsten Kräfte und eignet sich nicht gut für Nähte, die unter Spannung stehen. Für diesen Zweck muß unbedingt ein intrakorporal zu legenden Konterknoten den Weston Knoten sichern. Damit scheidet der Weston Knoten als „Universalknoten“ aus!

Der Roeder Knoten ist ebenfalls kompliziert zu legen und unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht wesentlich vom Melzer-Bueß Knoten. Seine Varianz ist jedoch nicht so ausgeprägt. Die Knotenkräfte liegen signifikant unter denen des

Melzer-Bueß Knotens und ebenfalls signifikant über denen des *Weston Knotens*. Das Gewicht liegt etwas unter dem des *Melzer-Bueß Knotens* aber noch deutlich über den beiden übrigen Knoten. Der *Roeder Knoten* ist ein einigermaßen sicherer Knoten ohne besondere Vorteile. Eine Ausnahme besteht bei sehr dicken, sperrigen, glatten Fäden (monofile Fäden Stärke 0) bei denen der *Roeder-Knoten* Vorteile gegenüber dem „*Schnelsener*“ *Knoten* und dem *Weston-Knoten* hat.

Der „*Schnelsener*“ *Knoten* ist leicht zu legen, bringt nach dem *Weston Knoten* die geringste Masse an Fremdmaterial ein und liegt in Bezug auf die Zugkräfte zwischen dem *Melzer-Bueß Knoten* und dem *Roeder Knoten*. Besonders gute Eigenschaften zeigt der Knoten bei der Knotung in blutigem Milieu mit geflochtenem Fadenmaterial. Hier ist die Streubreite sehr gering und die Knotenkräfte liegen alle über 25 Newton. Besondere Stärken hat der Knoten auch in blutigem Milieu mit einem PDS - II Faden der USP - Stärke 2 - 0.

Die in Kapitel 1.5 (Seite 19) gestellten Fragen lassen sich wie folgt beantworten:

- 1) Die Haltekraft des neuen "*Schnelsener*" *Knotens* ist mit der Kraft bisher gebräuchlichen Knoten vergleichbar oder diesen teilweise überlegen.
- 2) Das Fadenmaterial hat einen erheblichen Einfluß auf die Haltekkräfte.
- 3) Das äußere Milieu spielt - abhängig auch vom Fadenmaterial - eine erhebliche Rolle. Die Knotenkräfte sind insbesondere bei dem PDS 2-0 Faden in blutigem Milieu deutlich größer.
- 4) Die geprüften Knoten unterscheiden sich erheblich in ihrer Masse. Es wurden Unterschiede bis zu einem Verhältnis von 1 : 3,33 gefunden.
- 5) Der "*Schnelsener*" *Knoten* ist in punkto Sicherheit den herkömmlichen Knoten ebenbürtig bis überlegen. In Bezug auf Leichtigkeit in der Handhabung rangiert er hinter dem *Weston Knoten* auf dem zweiten Platz.
- 6) In der praktischen Erprobung im Routinebetrieb hat sich der neu entwickelte Knotenschieber als ein sicheres und effektives Instrument bewährt, mit dem Knoten präzise, komfortabel und sicher gelegt werden können.

Die Verbindung der extrakorporalen Knotung mit dem "*Schnelsener*" *Knoten* und dem neuen Knotenschieber stellt ein universelles, sehr kostengünstiges und sehr sicheres System dar, mit dem in der minimal invasiven Chirurgie auch unter großer Spannung befindliches Gewebe approximiert oder ligiert werden kann.

6 Literaturverzeichnis

Babetty Z. et al. (1998) Knot Properties of Alternating Sliding Knots with Different Patterns in Comparison to Alternating and Simple Sliding Knots
J Am Coll Surg 186 (5) : 485 - 9

Baur E.-M., Greschner M., Schaaf L. (1996) Praktische Tips für die medizinische Doktorarbeit
Springer, online Adresse:
<http://www.multimedica.de/public/html/springer/BI/FUFBI000S/09.html>

Bojahr B. und Volgmann Th. , (1999) Gaslose Laparoskopie
Indikationen und Operationstechnik . gynäkol. prax. 23: 693-705

Browers J.E. et al. (1991) Dynamik loading of surgical knots Gynecology & Obstetrics 173 : 443 - 48

Chua H.B. (1997) A tripod device for an extracorporeal slipknot
(Roeder knot) J. R. Coll. Surg. Edinb. 42 : 403 - 406

Croce E., Olmi S. (1997) Extracorporeal knotting simplified with a new instrument Surg Endosc 11(9) : 963 - 4

Dinsmore R.C, (1995) Understanding surgical knot security: A proposal to standardize the literature.

Journal of the American College of Surgeons 180 : 689-696

Dorsey J.H. et al. (1995) Laparoscopic knot strength: A comparison with conventional knots Obstet. Gynecol. 86 : 536 - 40

Edlich R.F. , (2000) USSC Surgikal knot tying manual
Internetadresse: <http://sutures.ussurg.com/knot-tying/body.html>
am 20.6.00

Gaur D.D. (1998) Laparoscopic Suturing and Knot Tying : The Indian Rope Trick J Endourology 12(1) : 61 - 66

Gediga G. und Kuhnt T. , (1998) Praktische Methodenlehre
Internetadresse: <http://www.psycho.uni-osnabrueck.de/ggediga/www/pm98>

Gupta B.S. et al., (1985) Effect of lubrication on frictional properties of sutures. Surg. Gynecol. Obstet. 161: 416-418

Hanna G.B. et al. (1997) Influence of direction of view, target-to-endoscope distance and manipulation angle on endoscopic knot tying
British Journal of Surgery 84 : 1460 - 1464

Haxton H. , (1965) The influence of suture materials and methods on the healing of abdominal wounds. Br. J. Surg. 52: 372-375

Herrmann J.B., (1971) Tensile strength and knot security of surgical suture materials. Am. Surg. 37: 209-217

Herrmann J.B., (1973) Changes in tensile strength and knot security of surgical sutures in vivo. Arch. Surg. 106: 707-710

Holmlund D.E.W., (1974) Knot properties of surgical suture materials. Acta Chir. Scand. 142: 355-362

Israelsson L.A., Jonsson T., (1994) Physical properties of self locking and conventional surgical knots Eur J Surg 160 : 323 - 7

Kadikamanathan S.S, et al. (1996) A comparison of the strength of knots tied by hand and at laparoscopy
Journal of the American College of Surgeons 182 : 46-54

Kretschmer T, et al. (1999) Iatrogene, periphere Nervenläsionen, schnell erkennen, adäquat behandeln. Klinikarzt 9/28:273-278

Lübbert D. , (1999) Statistik Zusammenfassungen für Sozialwissenschaftler
Internetadresse : <http://www.luebbert.net/uni/statist/statb/statb5.htm>

Medienzentrum Uni-Saarland, Empfehlenswerte Präsentation zur
Wahrnehmung von zentraler Tendenz und Variabilität bei mehreren
Datenreihen
Internetadresse: <http://www.uni-saarland.de/phihfak/MZ/graph/drei/tukey.html>

medweb Uni-Muenster, Homepage des Institutes für medizinische Informatik
und Biomathematik der Universität Muenster
Internetadresse: [http://medweb.uni-
muenster.de/institute/imib/lehre/skripte/biomathe/glossar.html](http://medweb.uni-muenster.de/institute/imib/lehre/skripte/biomathe/glossar.html)

Miller S.S. (1996) A new reusable instrument for simple and secure knot tying
in laparoscopic surgery . Surg Endosc 10(9) : 940 - 941

Nathanson L.K., Nathanson P.D., Cuschieri A, (1991) Safety of vessel ligation
in laparoscopic surgery.
Endoscopy Jul;23(4):206-9

Pennings J.L., et al. (1995) The knit stitch. An improved method of
laparoscopic knot tying Surg Endosc 9 (5) : 537 - 40

Sanz L.E. et al. (1988) Comparison of Maxon suture with Vicryl , chromic
Catgut and PDS sutures in fascial closure in rats
Obstet Gynecol 71 : 418 - 422

Sedlack J.D, et al. (1996) Laparoscopic Knot Security
Surgical Laparoscopy & Endoscopy 6/2: 144-146

Sharp H.T. ; Dorsey J.H. et al. (1996) The Effect of Knot Geometry on the
Strength of Laparoscopic Slip Knots
Obstetrics & Gynecology 88 (3) : 408 - 411

Sharp, H.T. et al. (1996) A simple modification to add strength to the Roeder Knot J Am Assoc Gynecol Laparosc Feb 3(2) 305 - 7

Sharp, H.T. et al. (1997) The 4-S modification of the Roeder knot :
how to tie it Obstet Gynecol 90(6): 1004 - 6

Shimi S.M. et al., (1994) Comparative study of the holding strength of
slipknots using absorbable and nonabsorbable ligature materials Surg.
Endosc. 8: 1285-1291

Szold A. (1997) A Novel Technique for Simple Laparoscopic extracorporal
Knot Tying J Am Coll Surg 184 : 523 - 524

Tera H. und Aberg C., (1976) Tensile strength of twelve types of knots
employed in surgery, using different suture materials. Acta Chir. Scand.
142: 1-7

Tera, H. et Aberg, C. (1977) Strength of knots in surgery in relation to type of
knot, type of suture material and dimension of suture thread. Acta Chir Scand
143(2) : 75 - 83

Tiemann V. WS 1999/00 Darstellung univariater Datensituationen
Internetadresse: <http://www.uni-bielefeld.de/StatCompSei/lehre/material-spezifisch/praktikum99.00/kap1.html>

Trimbos J.B. , (1984) Security of various knots commonly used in surgical
practice. Obstet. Gynecol. 64: 274-280

Trimbos J.B. et al. (1989) Factors relating to the volume of surgical knots.
Int J Gynaecol Obstet 30(4) : 355 - 9

Trimbos J.B. et al., (1986) Performance of sliding knots in monofilament and
multifilament suture material Obstet. Gynecol. 68 No 3 : 425 - 430

Trimbos J.B. et al., (1991) Mechanical knot performance of a new generation polydioxanon suture (PDS - 2) Acta Obstet Gynecol Scand 70 : 157 - 159

van Rijssel E. et al. , (1990) Mechanical performance of square knots and sliding knots in surgery: a comparative study.
Am. J. Obstet. Gynecol. 162: 93-97

VGSPS (1999), Beratungsstelle für statistische Programmsysteme
Internetadresse: http://www.vgsps.de/html/boxplot_0.html

Wattiez A. und Bruhat M.A. , (1998) Endoskopische Naht- und Knüpftechnik.
Ethicon, 3Le 06.98, B.-Nr.04

Weston, P.V., (1991 Jul) A new clinch knot. Obstet Gynecol 78 (1) : 144 - 7

Zhilin O.V. (1996) Modified Roeder Loop for Laparoscopic Surgery
Surgical Laparoscopy & Endoscopy 6 (1) : 76 - 77

Zimmer C.A. et al. (1991) Influence of knot tying technique on the mechanical performance of sutures. J Emerg Med 9 (3) : 107 - 13

7. Danksagung

Für die Unterstützung, die hilfreichen Ratschläge und die wissenschaftliche Anleitung danke ich Herrn Prof. Dr. med. M.H. Carstensen sehr.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern der Firma Ethicon, Fr. Ziemer und Herrn Dr. Holste für die Einführung am Meßgerät und die nette Betreuung vor und während der Messungen.

Herrn Prof. Dr. J. Berger, Direktor der Abteilung für Mathematik in der Medizin, danke ich für die Betreuung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Ich danke auch meinen Kindern Nicola und Dominik, die einmal mehr auf mich verzichtet haben.

Ganz besonders danke ich aber meiner Frau Barbara, die mir nicht nur - wie immer - den Rücken freigehalten hat, sondern mich durch ihr Interesse immer wieder motivierte und mir bei den Zeichnungen sehr geholfen hat.

Zuletzt danke ich meinen Eltern, Irmgard und Waldemar von Leffern, die mir durch eigenen Verzicht das Studium der Medizin ermöglichten.

Deshalb ist ihnen auch diese Arbeit gewidmet.

8. Lebenslauf

18.4.1956	geboren in Hamburg - Wandsbek, Vater : Waldemar von Leffern, Oberregierungsrat Mutter : Irmgard von Leffern, Hausfrau Schwester : Gabriele von Leffern, Studienrätin
1.4.63 - 31.3.67	Besuch der Grundschule in Hamburg Wandsbek
1.4.67 - 9.6.75	Besuch des Matthias - Claudius - Gymnasiums in Hamburg, Abitur in den Leistungskursen Biologie und Chemie
11.8.75 - 18.10.75	Krankenpflegepraktikum AK Wandsbek
1.1.76 - 31.3. 76	Pflegehelfer auf der operativen Intensivstation AK Wandsbek
1.4.76 - 30.6.77	Grundwehrdienst Sanitätseinheit Itzehoe
1.7.77 - 30.9.78	Pflegehelfer im OP des AK Wandsbek
1.10.78 - 30.3.80	Studium der Biologie an der Universität Salzburg
1.4.80 - 26.11.85	Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg
1.11.85	Heirat mit Barbara von Leffern, geb. Moser, Biologin
26.11.85	Approbation zum Arzt
17.2.86 - 31.12.89	Assistenzarzt in der gynäkologisch-geburtshilflichen Abteilung des Krankenhaus Elim, Leitender Arzt PD Dr. med.H. Pauli
10.3.86	Geburt der Tochter Nicola
24.7.89	Geburt des Sohnes Dominik
1.1.90 - 31.3.91	Assistenzarzt in der gynäkologisch - geburtshilflichen Abteilung des Albertinen Krankenhauses Hamburg, Leitender Arzt bis 31.3.90 Dr. K. Ruhrmann, seit 1.4.90 Prof. Dr. M.H. Carstensen
27.3.91	Facharzt für Gynäkologie und Geburtshilfe
1.4.91 - 31.3.98	Oberarzt in der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe , Albertinen Krankenhaus Hamburg
seit 1.4.98	Leitender Oberarzt in der Abteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe , Albertinen Krankenhaus Hamburg

9. Anhang

Dieser Arbeit ist eine CD - ROM beigelegt, auf der die vorläufige Internet - Präsentation des Systems:

"Schnelsener Knoten und Knotenschieber" gespeichert ist.

Diese Präsentation ist bisher nicht veröffentlicht, sondern wird erst nach Annahme der Arbeit durch den Fachbereich in das Internet gestellt werden.

Die geplante Adresse ist:

<http://home.t-online.de/home/vonLeffern/knotpage.htm>

Erklärung:

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe, Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und daß ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.