

Knoten im Vergleich



Der verbesserte Clinchknoten

Jeder von uns begegnet ihnen täglich, mag es beim Schuhe schnüren oder Paketschleife binden sein. Die Auswahl an Knoten geht jedoch, wie jeder Sportfischer weiß, weit über diese Beispiele hinaus. Aber welche halten nun am meisten?

Und welche Rolle spielt dabei das Material beziehungsweise der Durchmesser der Schnur?

Diesen Fragen ging ich, mithilfe einer selbst konstruierten Maschine, nach.

Von Hauke Bartzsch



Eine kleine Auswahl an Angelschnüren

Kurzfassung

Insbesondere in der Sportfischerei werden höchste Ansprüche an Knotenverbindungen gestellt. Deshalb untersuchte ich mehrere, häufig in der Praxis angewendete Angelknoten mithilfe einer selbst konstruierten Maschine (Abb.0.1) auf ihre Belastungsgrenzen und setzte die Ergebnisse mit der jeweiligen Schnurtragkraft ins Verhältnis. Diese Versuche wiederholte ich unter Verwendung unterschiedlicher Schnüre mit verschiedenen Eigenschaften. Zudem überprüfte ich das Dehnungsverhalten bestimmter Schnüre sowie die qualitativen Differenzen unterschiedlicher Schnurmaterialien und Hersteller. Es stellte sich heraus, dass die Knotentragkräfte sowohl von der Art des Knotens, als auch von dem Durchmesser und dem Material der Schnur abhängen. Zudem zeigten Schnüre verschiedener Hersteller unterschiedliche Werte bezüglich der Schnurtragkraft und der Knotentragkraft auf.

Als sicherste, in der Sportfischerei übliche Anbindung stellte sich das sogenannte Knotenlos heraus, bei welchem es sich nicht um einen herkömmlichen Knoten handelt, sondern um ein Drahtstück, welches mit der betreffenden Schnur umwickelt wird (siehe Abb.0.2). Als sichersten, konventionellen Knoten identifizierte ich den ebenfalls häufig verwendeten, verbesserten Clinchknoten (Abb.0.3).



Abb.0.1: Knotenprüfmaschine

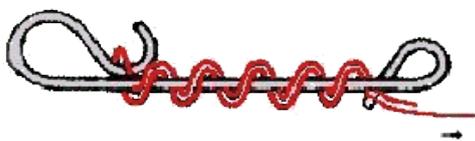


Abb.0.2: No-Knot



Abb.0.3: verbesserter Clinchknoten

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in die Thematik	1
1.1 Feststellung der Aktualität der Thematik des Knotens	1
1.2 Vorstellung verschiedener Schnurmaterialien	1
1.3 Eingrenzung der Versuchsplanungen	1
2 Material und Methoden	2
2.1 Beschreibung der Prüfmaschine	2
2.1.1 Voraussetzungen der Maschine	2
2.1.2 Umsetzungen der Anforderungen	2
2.2 Vorgenommene Normungen	4
2.3 Messungen der Schnurdehnung	5
2.4 Hypothesen	5
3 Ergebnisse	5
3.1 Ergebnisse der Knotenprüfungen	5
3.1.1 Beobachtungen der Knotenprüfungen	5
3.1.2 Photographien der gerissenen Knoten	6
3.1.3 Versuchsdiagramme	6
3.1.4 Tabellarische Auflistung der Ergebnisse	7
3.2 Ergebnisse der Dehnungsmessung	7
4 Diskussion	8
4.1 Vergleich der Knoten untereinander	8
4.2 Vergleich der Schnurdurchmesser	9
4.3 Vergleich des Schnurmaterials	10
4.4 Betrachtung der Dehnungskurven	11
4.5 Einbezug der Photographien	12
4.6 Fehlerdiskussion	12
5 Zusammenfassung	13
6 Ausblick	14
7 Literaturverzeichnis	14
8 Danksagung	14

1 Einführung in die Thematik

1.1 Feststellung der Aktualität der Thematik des Knotens

Es gibt viele Möglichkeiten, zwei Komponenten miteinander zu verbinden, wie zum Beispiel das Schweißen, Löten, Nieten oder auch Kleben. Ihnen allen gemeinsam ist, dass mindestens ein weiteres Werkzeug zur Bearbeitung benötigt wird. Eine Ausnahme bildet hierbei das Verknoten, welches jedoch nur bei ausreichend flexiblen Fäden, Schnüren oder Seilen angewendet werden kann. Aufgrund des Vorteils, ohne Hilfsmittel eine Verbindung zweier Schnurenden zu ermöglichen, findet diese Art der Verbindung jedoch auch heute noch Anwendung, wie zum Beispiel bei den Pfadfindern, in der Seefahrt, dem Tauchen, dem Hausbau, der Theaterbühnentechnik oder auch in der Chirurgie¹. Insbesondere in der Sportfischerei jedoch werden Knoten bis an ihre Tragkraftgrenze ausgereizt, da möglichst dünne Schnüre zur Minimierung der Scheuchwirkung auf die Beute verwendet werden. Bei der freizeithlichen Ausübung der Sportfischerei bemerkte ich, dass verschiedene Knoten und Schnüre unterschiedliche Tragkräfte aufwiesen, sodass sich mir die Fragen stellten, welche Knoten die höchste Tragkraft besäßen und ob die relative Tragkraft des Knotens mit dem Durchmesser und Material der Schnur variere. Außerdem wollte ich aufgrund meiner Beobachtung, dass bestimmte Schnüre eine sehr hohe Dehnung aufweisen, herausfinden, ob die Schnurdehnung linear zur Kraftzunahme erfolgt.

1.2 Vorstellung verschiedener Schnurmaterialien

Obgleich die ersten zum Fischfang verwendeten Angelschnüre aus Tiersehnen oder Pferdehaar gefertigt waren, werden solche im 21. Jahrhundert fast ausschließlich aus synthetischen Materialien hergestellt². Je nach Angelmethode bieten sich unterschiedliche Materialien an. Meistens kommt eine monofile, also mindestens 50 Mikrometer dicke Schnur aus Nylon³, bei manchen Angelmethoden wie dem Meeresangeln jedoch auch multifile, also aus mehreren Einzelfasern geflochtene Schnur, die ebenfalls als polyfile Schnur bezeichnet wird, zum Einsatz. Diese besteht aus ultrahochmolekular gewichtetem Polyethylen, kurz UHMWPE. Die bekanntesten sind dabei Dyneema- und Spectrafasern, die in unterschiedlicher Weise verflochten werden, wobei die Anzahl der Einzelfasern je nach Hersteller zwischen vier und bis zu zwölf variiert. Die Eigenschaften dieser Schnüre sind eine erhöhte Tragkraft und eine wesentlich geringere Dehnung gegenüber monofilen Schnüren⁴.

1.3 Eingrenzung der Versuchsplanungen

Trotz der großen Vielfalt an Schnüren unterschiedlichster Materialien besteht die Hauptschnur nicht zuletzt aus Gründen des Preises in der Regel aus Nylon oder UHMWPE, also multifiler Schnur, weshalb sie in der sportfischereilichen Praxis von deutlich höherer Relevanz sind als jegliche andere Materialien, die deshalb bei den Versuchen nicht weiter beleuchtet werden sollen, mit Ausnahme von Fluorocarbon (siehe 1.4). Immer beliebter jedoch wird eine Alternative zum Knoten, das No-Knot, im deutschen auch Knotenlos genannt (siehe Abb.0.1). Hierbei handelt es sich um ein etwa drei Zentimeter langes Stück Draht, welches an beiden Enden gebogen ist. Statt dem Binden eines Knotens wird die Schnur erst zu einer Schlaufe gelegt und dann mehrfach um den Draht gewickelt, wobei die umgebogenen Enden ein Zurückwickeln der Schnur verhindern. Da das No-Knot im Normalfall für multifile Schnüre genutzt wird⁵, beschränkte ich mich bei den Versuchen auf diese Kombination. Ich erwartete nur minimale Abweichungen sowohl zwischen den Knoten als auch den verschiedenen Schnurmaterialien, sowie etwa gleiche Schnurwerte bei unterschiedlichen Herstellern.

¹vgl. Söring, Helmut: Knotenwelt. In: Hamburger Abendblatt 07.05.2002

²vgl. Autor unbekannt: <http://www.angeln.com/>; 20.03.2014

³vgl. Budworth, Geoffrey: Knoten, Bath (ISBN: 978—1-4054-5524-4), S.14, 99

⁴vgl. Bunting, Arndt: Drum prüfe, wer sich ewig bindet... In: Fisch und Fang 12/2013, S.14-21

⁵vgl. Tsygankov, Victor: <http://www.simfisch.de/no-knot-verbinding/>;20.03.2014

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung der Prüfmaschine

2.1.1 Voraussetzungen der Maschine

Um die Tragkraftwerte der Knoten testen zu können, war der Bau einer Maschine notwendig, die eine auswechselbare Schnur solange mit steigender Kraft belastete, bis diese zerriss, wobei die exakte, auf die Schnur wirkende Kraft zum Zeitpunkt des Schnurbruchs aufgezeichnet werden sollte.

Zudem benötigte ich zum objektiven Vergleich der Schnüre untereinander die linearen Tragkraftwerte dieser. Um die Maschine hierfür nutzen zu können, war jeweils für ein Ende der Schnur eine Befestigung nötig, die keinen Einfluss auf die Schnur nahm, wie es etwa bei einer lokalen Verringerung des Schnurdurchmessers durch beispielsweise Reibung im Knoten der Fall wäre.

2.1.2 Umsetzungen der Anforderungen

Zur Prüfung der Belastbarkeit unterschiedlicher Knoten verwendete ich Geräte und Software der Firma Vernier. Zum Einsatz kamen der „Dual-Range Force Sensor“, ein Messgerät für linear wirkende Kraft (siehe Abb.2.1, 2.2; A), und ein Anschlussgerät, das auch Interface genannt wird. Dieses übertrug die gemessenen Kraftwerte auf einen Laptop, der diese wiederum auf eine Zeitachse übertrug und den gemessenen Höchstwert, also die wirkende Kraft beim Schnurriss, angab.

Die zur Zeit des Downloads aktuellste Software war Loggerlite 1.6.1 (heruntergeladen am 26.02.2013 unter : <http://www.vernier.com/products/software/logger-lite/#download>). Die verwendeten Schnüre wurden von verschiedenen Firmen produziert und besaßen unterschiedliche Durchmesser zwischen 0,18 mm und 0,50 mm. Nach Herstellerangaben besitzen monofile Schnüre genannten Durchmessers etwa eine Tragkraft bis 20 Kilogramm⁸, was nach der Formel $F = m \cdot g$ einer Zugbelastung von $F = 20\text{kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196,2 \text{ N}$, also annähernd 200 Newton entspricht.

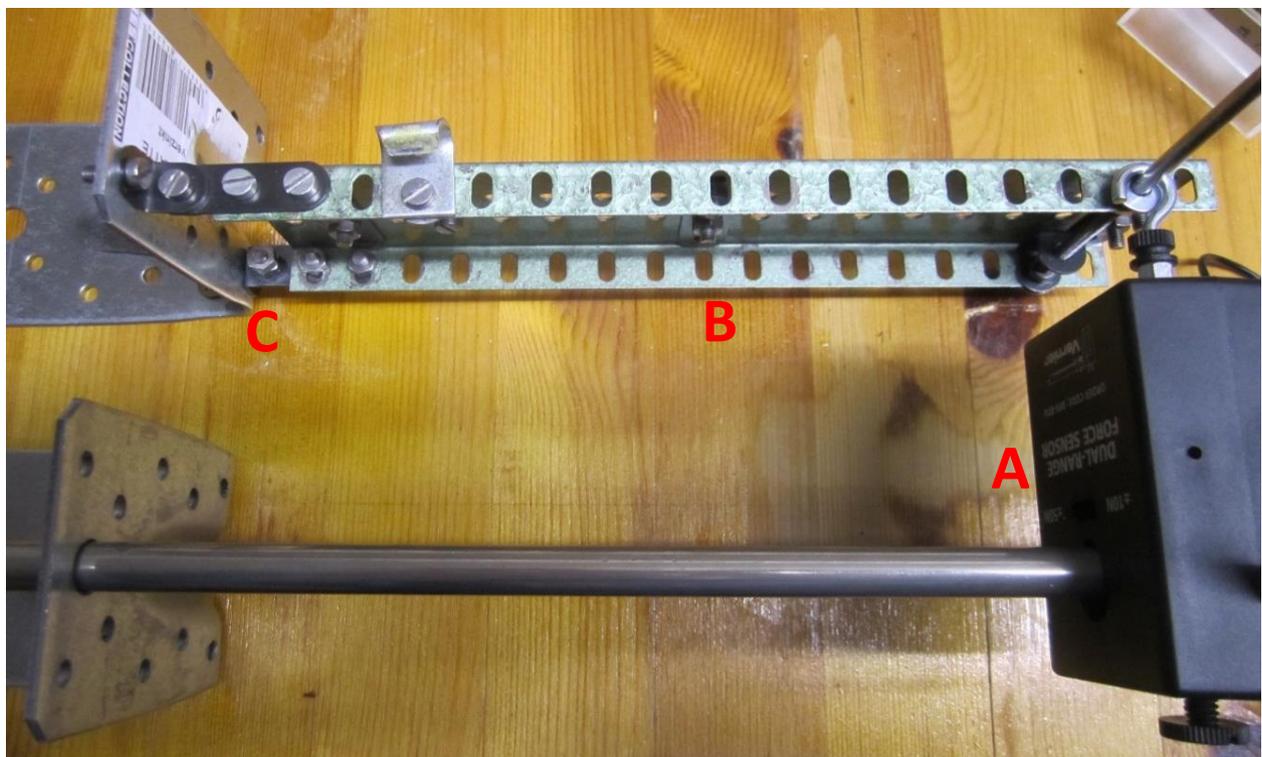


Abb.2.1: Hebelarm

⁸vgl. Schmidt, Ingolf: <http://www.asv-werne-lippetal.de/angelschnur.htm>; 19.03.2014

Da der Kraftsensor nur über einen maximalen Messbereich von +/- 50 Newton verfügt, war die Verwendung eines Hebelarms notwendig (siehe Abb.2.1, 2.2; B), der über ein Kräfteverhältnis von 50N zu 200N, also 1:4 verfügt. Bei der Apparatur entsprach dies den Abständen 5 und 20 cm vom Angelpunkt des Hebelarms (siehe Abb.2.1, C). Aufgrund der notwendigen Stabilität des Hebels verwendete ich Eisen und bog die Längsseiten um, die somit als Querstreben eine U-Form bildeten. Als Unterlage diente ein etwa ein Quadratmeter großes Holzbrett, auf dem sowohl der Drehpunkt des Hebels als auch der Kraftmesser fixiert wurden. Um je nach Bedarf eine Verlängerung oder Verkürzung des eingesetzten Hebels zu gewährleisten, montierte ich den Kraftmesser beweglich an einer horizontal fixierten Stange, sodass unterschiedliche Abstände zum Angelpunkt des Hebels festgelegt werden konnten. Die auf die Schnur wirkende Kraft wurde mithilfe eines Eimers bereitgestellt, der dank einer Pumpe gleichmäßig mit Wasser gefüllt werden konnte, wobei unterschiedliche Wassermengen pro Zeit einstellbar waren. Der daraus resultierende Kraftzuwachs war nach der Formel $F/t = m/t \cdot g$ konstant. Die Umlenkung des am Eimer befestigten Seils wurde am Rand des Holzbrettes montiert (siehe Abb.2.2, D).

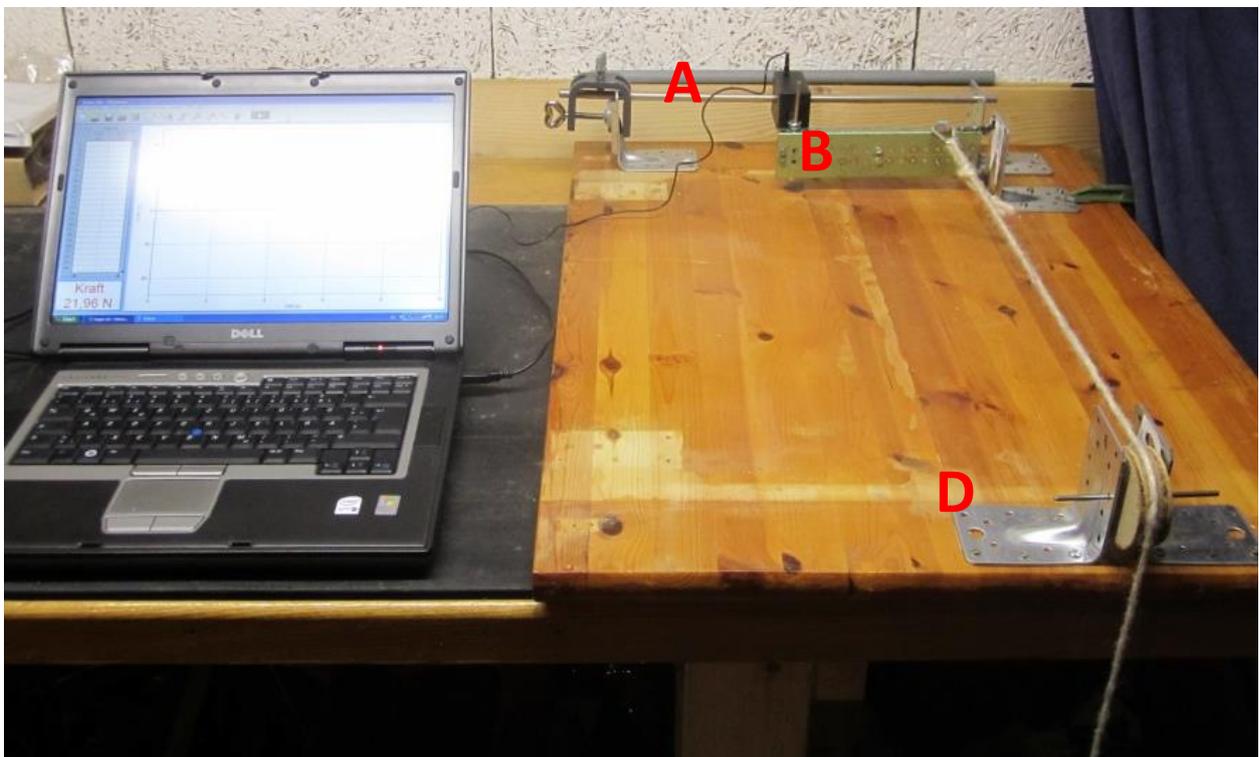


Abb.2.2: Knotenprüfmaschine

Da für die Angabe der relativen Knotenbelastbarkeit ebenfalls die lineare Tragkraft der Schnur, bei der es sich um die Belastungsgrenze der Schnur ohne Schwächung durch beispielsweise einen Knoten handelt, ermittelt werden musste, war es notwendig, eine Möglichkeit zu finden, die Schnur ohne den Einsatz von Knoten zu fixieren, da diese eine geringere Tragkraft aufweisen können als die Schnur selbst. Dazu nahm ich zwei aus relativ weichem Holz bestehende Zylinder mit einem Durchmesser von etwa 5 cm, durchbohrte diese jeweils einmal in Längs- und Querrichtung und montierte sie so an eine Halterung, dass sich die Schnur, nachdem man sie durch die Kanäle der Spulen gefädelt hatte, mehrfach um die Holzzyylinder herumwickeln ließ. Die Reibung der Schnur auf der Spule war zu gering, um eine eventuelle Schwächung der Schnur zu bewirken, aber in der Summe der Wicklungen ausreichend, um ein Durchrutschen zu vermeiden.

Bei Schnurstärken ab einem Durchmesser von 0,40 mm bewirkte die verglichen mit solch dicken Schnüren relativ enge Umlenkung am Ausgang der Bohrung eine Schwächung der Schnur, sodass ein Umwickeln eines zusätzlichen Holzstabes (siehe Abb.2.3 bis 2.7) den Umlenkwinkel der Schnur so verbesserte, dass auch bei diesen Schnüren eine hundertprozentige Tragkraft gewährleistet war.



Abb.2.3: Die Schnur wird durch die Holzspule gefädelt

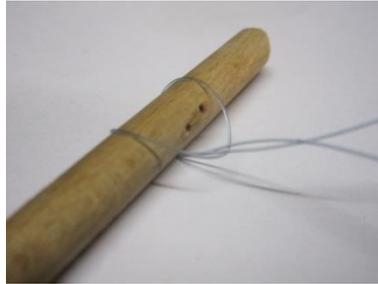


Abb.2.4: Der Holzstab wird mit einer Schlaufe umwickelt



Abb.2.5: Das Schnurende wird durch Kanäle im Stab geführt



Abb.2.6: Jeweils ein Stopperknoten und ein Holzstopfen dienen der Fixierung der Schnur

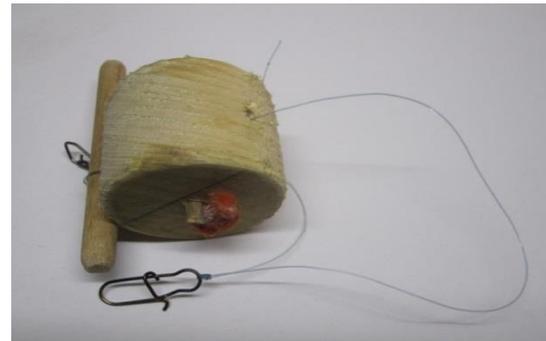


Abb.2.7: Die Schnur wird festgezogen, es folgen sieben Wicklungen um die Spule

2.2 Vorgenommene Normungen

Zur Bewahrung der Objektivität der Versuche war eine Normung aller variablen Faktoren notwendig. So verwendete ich ausschließlich dieselben Befestigungen zum Ermitteln der linearen Tragkraftwerte und versah diese mit jeweils sieben Umwicklungen. Des Weiteren verwendete ich für das Anknoten einen im Angelsport üblichen Karabiner mit einem Drahtdurchmesser von 0,87 mm und einem relativ großen Bogen des Durchmessers 7,5 mm. Das bei multifilen Schnüren eingesetzte No-Knot besaß einen Drahtdurchmesser von 0,90 mm und wurde mit zehn Wicklungen um die Metallachse versehen. Zur Anwendung kamen drei typische Angelknoten:

- Der verbesserte Clinchknoten:



Abb.2.8: Clinchknoten⁹

- Die Chirurgeschlaufe:



Abb.2.9: Chirurgeschlaufe¹⁰

- Der Grinnerknoten:



Abb.2.10: Grinnerknoten¹¹

⁹http://www.angelknotenpage.de/Knotenbank/cli_verb.htm; 11.03.2014

¹⁰http://www.angelknotenpage.de/Knotenbank/chir_schl.htm; 11.03.2014

¹¹http://www.angelknotenpage.de/Miniatur/kl_ginner.jpg; 11.03.2014

Den Clinchknoten versah ich jeweils mit sieben Wicklungen und steckte das Schnurende zur Sicherung nach dem Knoten ein weiteres Mal durch die beim Knoten entstandene Schlaufe, die sich unter Zugbelastung festzieht. Diese Erweiterung des Knotens wird verbesserter Clinchknoten, Klammerknoten, Wedge Knoten oder auch halber Blutknoten genannt¹². Ebenfalls mit sieben Wicklungen versah ich den Grinnerknoten, während die Chirurgeschlaufe, wie im Angelsport üblich, mit drei Durchführungen der gedoppelten Schnur durch die Schlaufe gebunden wurde.

Die verwendeten Einstellungen des Programms Loggerlite lagen bei jedem Versuch bei fünfzig Kraftmessungen pro Sekunde, weshalb bei einer Kraftzunahme von etwa 0,2 Newton pro Sekunde eine weitere Normung des Wasserstrahls der Pumpe nicht notwendig war, da das Programm die Messungen auf zwei Nachkommastellen gerundet angab und die Differenz der Messpunkte nach der Formel $\Delta F = \frac{\Delta F}{\Delta t} \cdot f = 0,2 \frac{\Delta N}{\Delta s} \cdot \frac{1}{50} s^{-1} = 0,004 N$ betrug.

Die Auswirkungen einer geringen Veränderung der Pumpgeschwindigkeit lagen demnach außerhalb des Messbereichs. Bei monofilen Schnüren ab einem Durchmesser von 0,40 mm und polyfilen Schnüren war der Einsatz eines Hebelarms von 1:4 notwendig. Für alle dünneren, monofilen Schnüre verwendete ich einen Hebel von 1:2, da somit ein genaueres Ergebnis erzielt werden konnte als bei dem Hebelarm von 1:4, was, verglichen mit den dickeren Schnüren höherer Tragkraft, zu einer vergleichbaren, relativen Genauigkeit führte.

2.3 Messungen der Schnurdehnung

Zur Betrachtung der Schnurdehnung stellte ich die Belastungszunahme pro Zeit mithilfe des Wasserstrahls der Pumpe vergleichsweise langsam ein und notierte in Abständen von jeweils zwei Newton Kraftzunahme die Strecke zwischen den beiden Befestigungspunkten der Schnur. Da multifile Schnüre gegenüber monofilen Schnüren eine deutlich geringere Dehnung aufweisen, die unter den gegebenen Bedingungen einer Schnurlänge von etwa 20 cm nicht ermittelt werden konnte, begrenzte ich die Untersuchungen hinsichtlich der Dehnungsversuche auf eine 0,24 mm dicke, monofile Schnur.

2.4 Hypothesen

Hinsichtlich der Knotenversuche vermutete ich eine etwa gleiche, relative Tragkraft der drei untersuchten Varianten bei etwa 90% der linearen Tragkraft der Angelschnüre, wobei ich hinsichtlich des No-Knots einen leicht erhöhten Tragkraftehalt der Schnur erwartete.

Dem Durchmesser der Angelschnüre maß ich keine Bedeutung zu, dafür jedoch dem Schnurmaterial, da sich die Eigenschaften geflochtener Angelschnüre stark von denen monofiler unterscheiden. So lässt sich bei der Handhabung monofiler Schnüre eine erhöhte Steifheit des Materials feststellen.

Bei den Ergebnissen der Dehnungsmessungen vermutete ich eine lineare Zunahme der Schnurlänge.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Knotenprüfungen

3.1.1 Beobachtungen der Knotenprüfungen

Bei den linearen Schnurprüfungen riss die Schnur ausschließlich zwischen den beiden zur Befestigung dienenden Holzspulen, bei der Verwendung eines No-Knots oder eines Knotens hingegen im Bereich des Knotens beziehungsweise des Drahtendes des No-Knots. Die Knoten zogen sich, wie die Wicklungen um das No-Knot, bei jedem der Versuche fest. Alle Messergebnisse repräsentieren folglich die Schwächung der Schnur durch die verwendeten Anbindungsarten.

¹²vgl. <http://www.petriangeln.de/clinchknoten-und-verbesserter-clinchknoten-angelknoten>; 20.03.2014

3.1.2 Fotografien der gerissenen Knoten

Aufgrund ihrer im Vergleich zu den anderen Schnüren guten Sichtbarkeit wurde die monofile Schnur mit einem Durchmesser von 0,50 mm exemplarisch für die Aufnahmen verwendet. Die Fotografien wurden mit einer Digitalkamera im Makromodus angefertigt, sowie die gerissenen Abschnitte zur besseren Erkennbarkeit markiert. Als Untergrund diente Millimeterpapier.

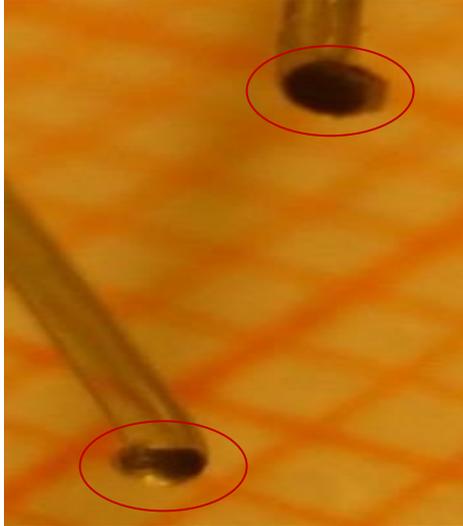


Abb.3.1: Linearer Schnurriss



Abb.3.2: Knotenriss Clinchknoten

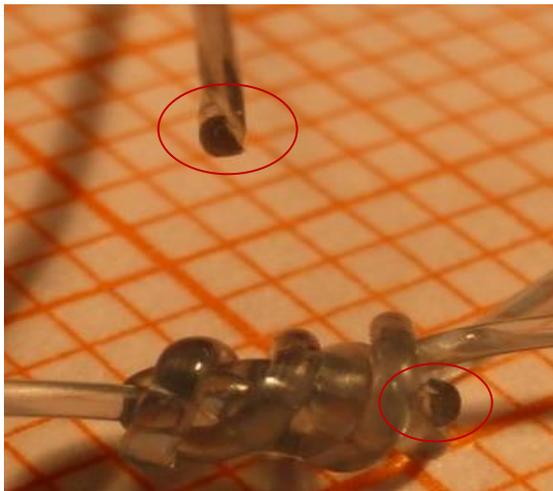


Abb.3.3: Knotenriss Chirurgenschlaufe

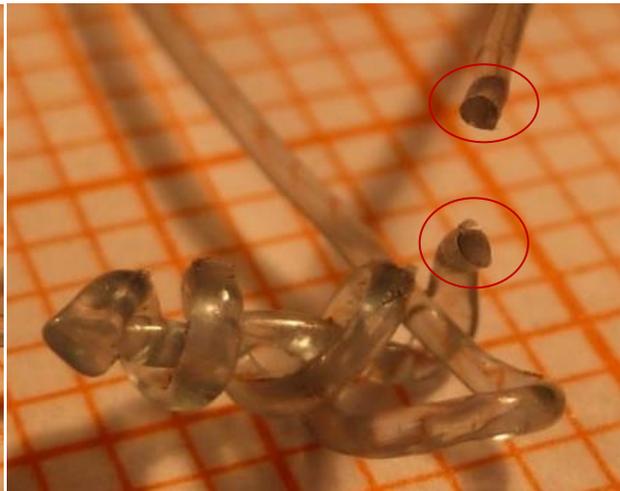


Abb.3.4: Knotenriss Grinnerknoten

3.1.3 Versuchsdiagramme

Das von mir verwendete Programm Loggerlite trug die vom Kraftsensor aufgezeichneten und vom Interface an den Laptop vermittelten Daten in Diagrammen auf. Zum Beginn jeder Messreihe kalibrierte ich den Kraftsensor, hing danach den ungefüllten Wassereimer an das Ende der Schnurprobe, startete manuell die Datenerfassung durch das Programm und aktivierte zuletzt die Pumpe, weshalb in den aufgenommenen Diagrammen bereits beim ersten Zeitwert eine gemessene Kraft angezeigt wird, die dem Gewicht des ungefüllten Eimers entspricht.

Die gezeigten Diagramme stellen exemplarisch den stetigen Kraftanstieg während der Versuche anhand einer monofilen Schnur des Durchmessers 0,50 mm dar. Auf der X-Achse ist die Zeit in Sekunden, auf der Y-Achse die gemessene Kraft in Newton aufgetragen.

Aufgrund von Unterschieden in der zugegebenen Wassermasse pro Zeit ergeben sich verschiedene Steigungen beziehungsweise Achsskalierungen.

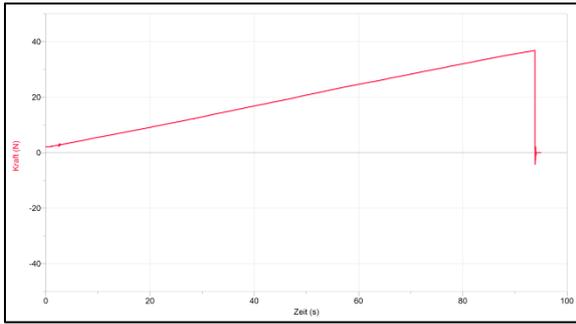


Abb.3.5: Lineare Schnurprüfung

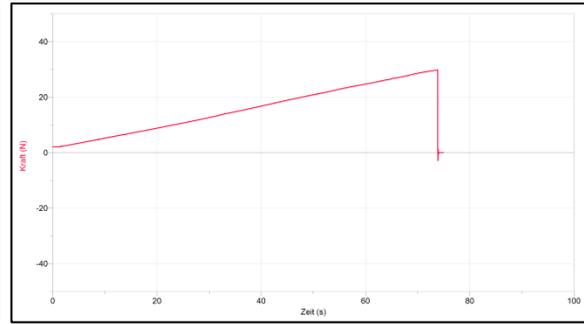


Abb.3.6: Prüfung des verbesserten Clinchknotens

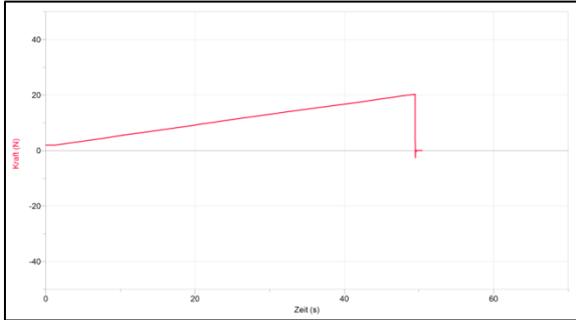


Abb.3.7: Prüfung der Chirurgeschlaufe

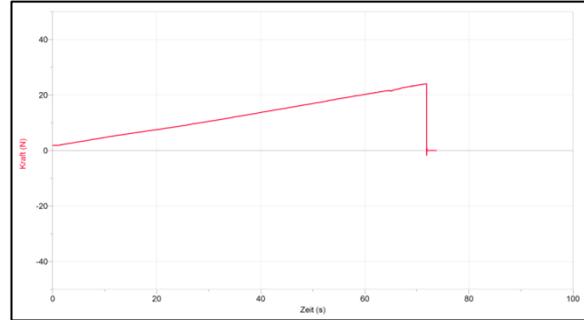


Abb.3.8: Prüfung des Grinnerknotens

3.1.4 Tabellarische Auflistung der Ergebnisse

Geprüfte Schnur	linear	Clinchknoten	Chirurgeschlaufe	Grinnerknoten
Monofil 0,20mm	32,04	26,22	24,06	27,86
Monofil 0,24mm	46,86	45,64	32,32	28,00
Monofil 0,30mm	58,30	46,80	40,86	52,02
Monofil 0,40mm	120,68	79,80	63,44	71,72
Monofil 0,50mm	147,16	119,16	96,28	81,28
Multifil 0,10mm	83,44	53,52	45,12	48,64
Multifil 0,25mm	158,12	100,44	63,76	90,44

Tab.3.9: Tabellarische Auflistung der Belastungsgrenzen in Newton

3.2 Ergebnisse der Dehnungsmessungen

Zur Überprüfung der Messergebnisse führte ich die Dehnungsmessung zweimal unter ähnlichen Bedingungen, mit dem Unterschied, dass der Abstand der beiden Befestigungspunkte der Schnur (siehe Tab.3.11; rote Linie), beim ersten 260 mm, beim zweiten Durchgang 220 mm betrug, durch.

Da die anfängliche Schnurlänge der ersten Messreihe somit nur um relativ geringe 18,2% länger war als die der zweiten, sind die jeweiligen Differenzen der Ergebnisse der Messreihen untereinander etwa vergleichbar. Die Befestigung erfolgte mithilfe zweier No-Knots einer Drahtstärke von 0,90 mm, die durch die relativ engen Wicklungen auch unter Zugbelastung nahezu keine Schnur freigaben, wodurch eine Abweichung der Ergebnisse von der tatsächlichen Schnurdehnung minimiert wurde.

wirkende Kraft (in Newton)	Schnurlänge Messreihe 1 (in mm)	Schnurlänge Messreihe 2 (in mm)
0	260	220
2	264	227
4	270	233
6	275	238
8	279	241
10	282	244
12	285	247
14	288	249
16	291	251
18	293	253
20	295	255
22	297	257
24	299	259

Tab.3.11: Schnurlänge in Millimetern

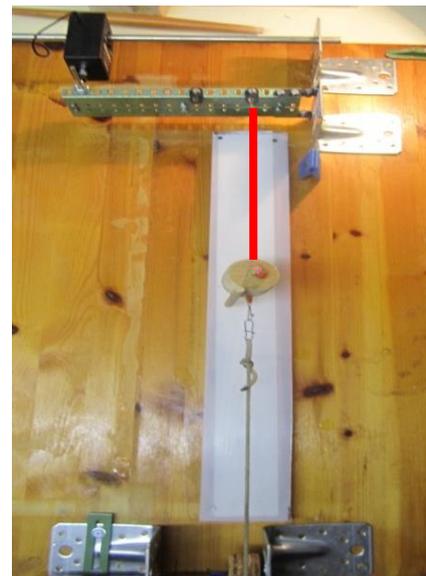
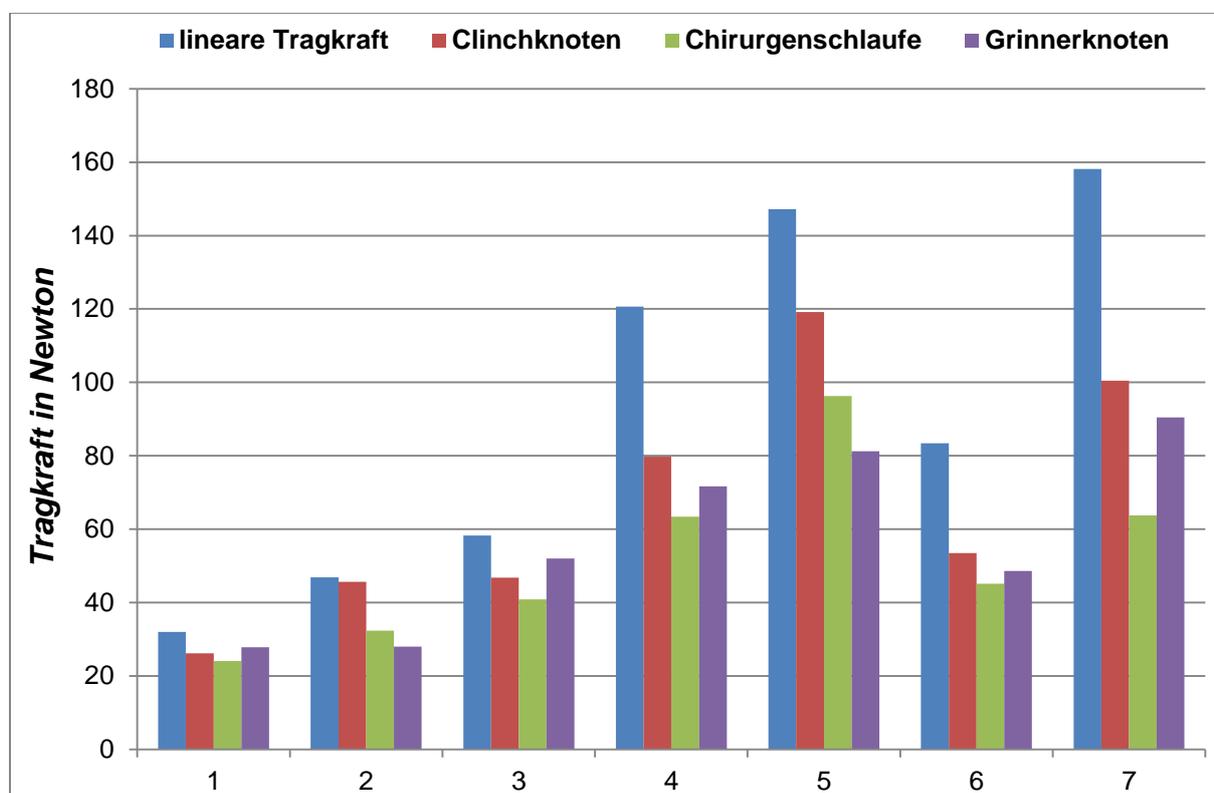


Abb.3.10: Dehnungsmessung (zuzüglich eines Lineals)

4 Diskussion

4.1 Vergleich der Knoten untereinander

Zur Visualisierung wurden die Werte aus Tab.3.9 in ein Säulendiagramm übertragen:



Monofile (1: 0,20mm, 2: 0,24mm, 3: 0,30mm, 4: 0,40mm, 5: 0,50mm); Polyfile (6: 0,10mm, 7: 0,25mm)

Abb.4.1: Belastungsgrenzen der Schnüre

Mithilfe der Formel $F_{Knoten\ in\ Prozent} = (F_{Knoten} \div F_{linear}) \cdot 100$ lassen sich die relativen Knotentragkräfte sowie durch die Formel $F_{Mittelwert} = (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n) \div n$ der jeweilige Mittelwert des Knotens beziehungsweise der Schnur berechnen.

Der *verbesserte Clinchknoten* besitzt von den drei geprüften Knoten die höchste Tragkraft, die je nach Durchmesser bei den monofilen etwa 81,3% und bei den polyfilen Schnüren 63,83% der linearen Tragkraft beträgt. Bis auf einen deutlich höheren (97,4% bei 0,24mm Durchmesser) und einen niedrigeren Wert (66,1% bei 0,40mm Durchmesser) liegen bei den monofilen Angelschnüren alle Ergebnisse im Bereich von +/- 1% um den Mittelwert. Eine größere Streuung ergibt sich bei den Testergebnissen der *Chirurgenschlaufen*.

In diesem Fall liegen die Werte zwischen 52,6% und 75,1% bei den monofilen und 40,3% und 54,1% bei den polyfilen Schnüren. Es ergibt sich bei den Monofilen ein Mittelwert von 66,4%, bei den Geflochtenen einer von 47,2%. Somit hält die Chirurgenschleife im Durchschnitt 15,4% weniger als der verbesserte Clinchknoten.

Eine zwischen diesen beiden Knoten platzierte Position nimmt der *Grinnerknoten* mit 66,6% der linearen Schnurtragkraft ein. Bei den monofilen Schnüren liegt der Mittelwert der relativen Reißfestigkeit bei 70,1%, bei den multifilen Schnüren bei 57,8%.

Insgesamt schwächt ein Knoten also die Schnur unterschiedlich ab, jedoch ist mit dem verbesserten Clinchknoten ein Erhalt der Schnurtragkraft von etwa 75% möglich, was ihn zum am meisten tragenden der geprüften Knoten macht.

Die Ursache der Wertunterschiede ist allein anhand der Kraftmessungen nicht begründbar.

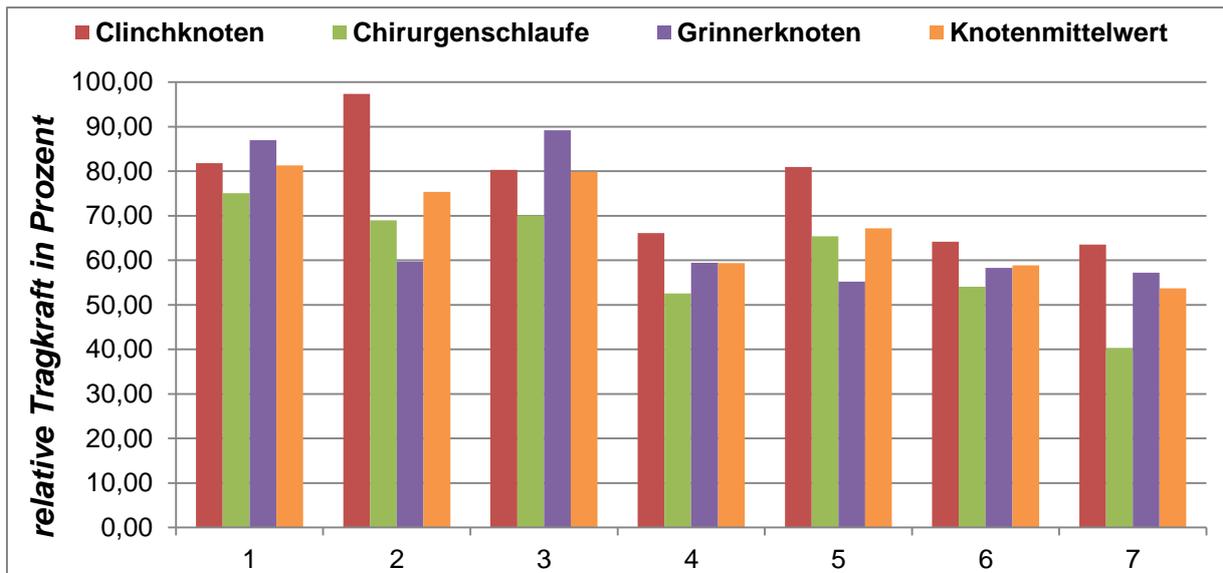
Geprüfte Schnur	Clinchknoten	Chirurgenschleife	Grinnerknoten
Monofil 0,20mm	81,84	75,09	86,95
Monofil 0,24mm	97,40	68,97	59,75
Monofil 0,30mm	80,27	70,09	89,23
Monofil 0,40mm	66,13	52,57	59,43
Monofil 0,50mm	80,97	65,43	55,23
Multifil 0,10mm	64,14	54,07	58,29
Multifil 0,25mm	63,52	40,32	57,20
Mittelwert	76,32	60,93	66,58

Tab.4.2: Tabellarische Auflistung der relativen Knotenbelastbarkeit in Prozent

4.2 Vergleich der Schnurdurchmesser

Die getestete monofile Schnur mit einem Durchmesser von 0,20 mm wird durch einen Knoten im Mittel auf 81,3% ihrer linearen Tragkraft geschwächt (siehe Abb.4.3) und reagiert somit am wenigsten empfindlich auf die Verwendung eines Angelknotens. Die 0,24 mm dicke, ebenfalls monofile Schnur wird im Durchschnitt durch einen Knoten auf etwa 75,4%, die 0,30 mm dicke Schnur auf 79,9% geschwächt. Sie liegen somit relativ nahe am Wert derer mit einem Durchmesser von 0,20mm. Betrachtet man die Schnüre von 0,40mm (59,4%) und 0,50 mm (67,2%), so fällt auf, dass diese deutlich empfindlicher auf die Nutzung von Knoten reagieren als die Schnüre zwischen 0,20 mm und 0,30 mm Durchmesser. Deshalb ist bei der Auswahl der Angelschnur darauf zu achten, dass mit zunehmendem Durchmesser der Schnur eine größer werdende Abnahme der Tragkraft bei Verwendung eines Knotens einkalkuliert werden muss. Dennoch wird die höhere, absolute Tragkraft der Schnüre mit dem Durchmesser von 0,40 mm und 0,50 mm nicht vollständig durch die geringe, relative Knotentragkraft kompensiert, da sich für sämtliche Knoten bei diesen Schnüren höhere Messergebnisse als bei den anderen monofilen, jedoch deutlich dünneren Schnurproben ergaben.

Dieser Zusammenhang zeigte sich ebenfalls bei den Messergebnissen multifiler Schnüre.



Monofile (1: 0,20mm, 2: 0,24mm, 3: 0,30mm, 4: 0,40mm, 5: 0,50mm); Polyfile (6: 0,10mm, 7: 0,25mm)
 Abb.4:3: Relative Knotenbelastbarkeiten in Bezug auf die lineare Tragkraft der Schnur

4.3 Vergleich des Schnurmateri als

Beim Vergleich der durchschnittlichen Tragkraft multifiler mit denen monofiler Schnüre fällt auf, dass erstgenannte bei gleichem Schnurdurchmesser einer deutlich höheren, linearen Zugbelastung, also ohne Schwächung durch einen Knoten, Stand halten können. Diese Tatsache relativiert sich jedoch beim Betrachten der durchschnittlichen Knotenfestigkeit, die bei den geflochtenen Schnüren 58,8% (Sänger Speciflex 0,10 mm Durchmesser) beziehungsweise 53,7% (Berkley Fireline 0,25 mm Durchmesser) beträgt. Deutlich mehr Tragkraft weist die Anbindung mithilfe eines No-Knots auf. Mit einer Belastungsgrenze von 74,36 Newton im Falle der 0,10 mm und 140,08 Newton bei der 0,25 mm dicken multifilen Schnur entspricht diese 89,1% beziehungsweise 88,6% der linearen Schnurtragkraft. Somit zeigt sich, dass die Nutzung des No-Knots, insbesondere bei multifilen Angelschnüren, durchaus empfehlenswert ist, da diese im Vergleich zu monofilen Schnüren eine geringe Knotenfestigkeit aufweisen, was in der Beschaffenheit des Materials begründet zu sein scheint. Die Oberfläche der geflochtenen Schnüre lässt zwar aufgrund mangelnder Reibung ein Durchrutschen der Schnur eher zu als die monofiler, jedoch wurde während der Versuche nie ein Lösen des Knotens beobachtet. Es scheint demnach ein anderer Effekt für die geringere Tragkraft verantwortlich zu sein.

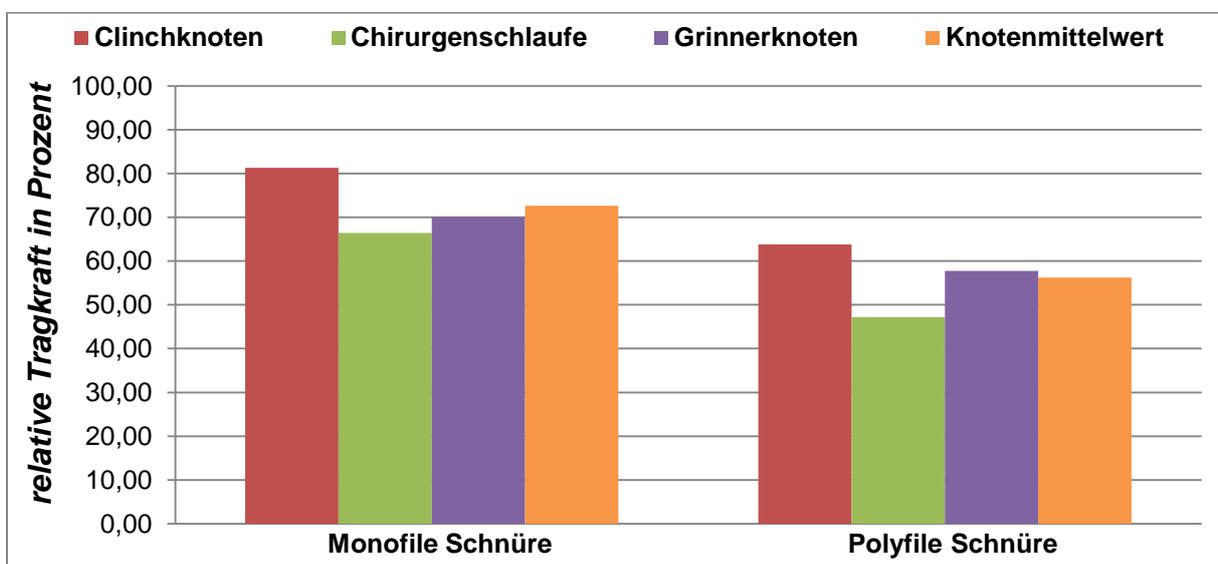


Abb.4.4: Relative Knotenbelastbarkeiten in Bezug auf die lineare Tragkraft der Schnur

4.4 Betrachtung der Dehnungskurven

Die aus den Ergebnissen der beiden Dehnungsversuche resultierenden Kurven (siehe Abb.4.6) sind nahezu deckungsgleich, weshalb eine Fehlmessung unwahrscheinlich ist. Werden die jeweiligen Differenzen der Schnurlängenmessungen ins Verhältnis zur anfänglichen Schnurlänge gesetzt, so ergibt sich, dass die Dehnung der Schnur zunächst zwischen 1 % und 2 % pro Newton beträgt, mit stetig steigender Zugbelastung jedoch wieder sinkt und sich ungefähr 0,4 % pro Newton Kraftzunahme annähert, was im Falle dieser Messreihen einem Millimeter pro Newton entspricht. Die Dehnung monofiler Angelschnüre wächst also nicht linear mit der auf sie wirkenden Kraft, sondern degressiv. Diese Aussage lässt sich aufgrund des Bezuges der Werte aus Tab.4.3 auf die jeweilige Anfangslänge l_0 der Schnur für alle Schnurlängen verallgemeinern.

Die prozentuale Dehnung berechnete ich mithilfe der Formel: $n\% / F = 100\% \cdot \{[(l_x - l_{x-1}) \div \Delta F] \div l_0\}$ Aussagen über das Dehnungsverhalten anderer Schnüre als der verwendeten monofilen, 0,24 mm dicken Schnur lassen sich jedoch nicht treffen.

wirkende Kraft (in Newton)	Dehnung Messreihe 1 (% / Newton)	Dehnung Messreihe 2 (% / Newton)
0	0	0
2	0,77	1,59
4	1,15	1,36
6	0,96	1,14
8	0,77	0,68
10	0,58	0,68
12	0,58	0,68
14	0,58	0,45
16	0,58	0,45
18	0,38	0,45
20	0,38	0,45
22	0,38	0,45
24	0,38	0,45

Tab.4.5: Relative Dehnung in Prozent / Newton

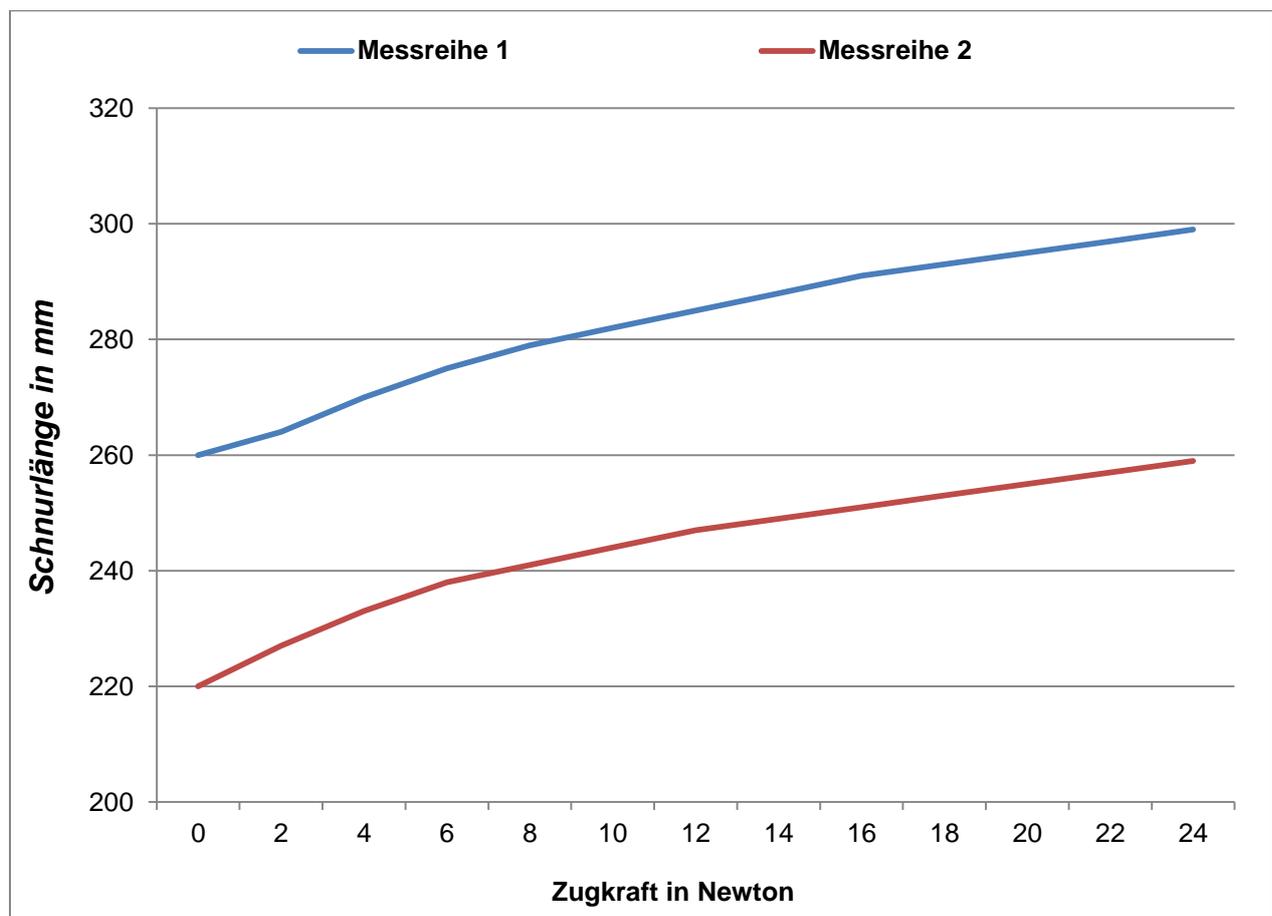


Abb.4.6: Dehnungskurven einer monofilen Schnur des Durchmessers 0,24 mm

4.5 Einbezug der Photographien

Anhand der Photographien (siehe Abb.3.1 bis Abb.3.4) lassen sich Verformungen des Schnurquerschnitts im Bereich der gerissenen Stellen erkennen. Die Schnüre sind dort nicht mehr rund, sondern weisen einen ovalen, gequetscht wirkenden Durchmesser auf. Außerdem zeigen die Bruchstellen leichte Verfransungen, was zeigt, dass die Schnurrisse nicht gerade verlaufen. Denkbar ist, dass sich die Schnüre im Bereich des Risses durch ihre Wicklungen im Knoten selbst quetschten und somit verformten, sodass sie dort aufgrund des weniger belastbaren Querschnitts eine Minderung der Tragkraft erfuhren.

Mithilfe dieser Erkenntnis lässt sich ebenfalls das in 4.3 beschriebene aber bislang nicht begründbare Phänomen der geringeren Knotentragkraft multifiler gegenüber monofiler Angelschnüre erklären. Die Querschnittsfläche geflochtener Schnüre ist verglichen mit der monofiler Schnüre gleicher, linearer Tragkraft sehr gering, was eine engere Umlenkung der Schnur im Knoten bewirkt. Hinzu kommt, dass aufgrund mangelnder Reibung bei den multifilen Schnüren die Zugkraft nicht so gut auf die einzelnen Wicklungen verteilt wird wie bei den monofilen, sondern die weichen, biegsamen Geflechtschnüre sich sehr eng festziehen und mit nahezu voller Kraft auf das umwickelte Schnurstück wirken, welches dadurch einer stärkeren Belastung unterliegt als bei der Verwendung monofiler Schnüre.

Bei der Nutzung eines No-Knots wird diese starke Belastung auf die Schnur umgangen, da sich die Wicklungen zwar festziehen, jedoch nicht um die Schnur selbst, sondern um einen vergleichsweise stabilen und dicken Metalldraht, sodass letztlich nur der Durchmesser des No-Knots und die damit verbundene Umlenkung der Schnur die Tragkraft bei dieser Art der Anbindung beeinflussen.

4.6 Fehlerdiskussion

Da die Schnur bei den linearen Belastungsprüfungen ausschließlich zwischen den Befestigungen riss, ist eine eventuelle, durch diese Art der Fixierung hervorgerufene Schwächung der Schnur auszuschließen. Die gemessenen Werte entsprechen folglich den tatsächlichen Belastungsgrenzen der Schnüre.

Im Normalfall führte ich zwar nur eine Knotenprüfung pro Schnur und Knoten durch, jedoch wiederholte ich diese jeweils zweimal, wenn sie in der Gesamtbetrachtung Abweichungen zu den Aussagen, die anhand der restlichen Prüfungen getroffen werden konnten, zeigten. Als Ergebnis diente der Mittelwert der beiden Wiederholungen. Dies war beispielsweise bei der Prüfung des verbesserten Clinchknotens unter Verwendung der monofilen Schnur des Durchmessers 0,24 mm der Fall, bei der die erste Wiederholung des Versuches 45,64 Newton und die zweite Wiederholung ebenfalls ein Ergebnis von 45,64 Newton Tragkraft hatte (siehe Abb.4.7, 4.8), was unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit zu hundert Prozent übereinstimmt und der sonst üblichen Bildung eines Mittelwertes entbehrt.

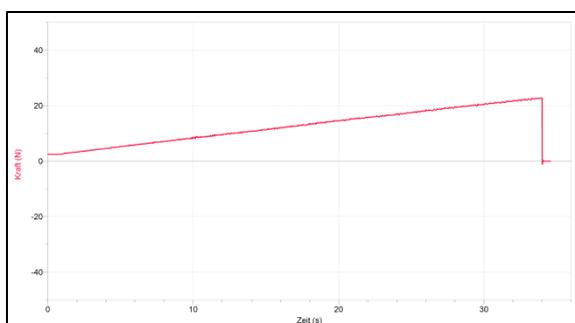


Abb.4.7: Erste Versuchswiederholung

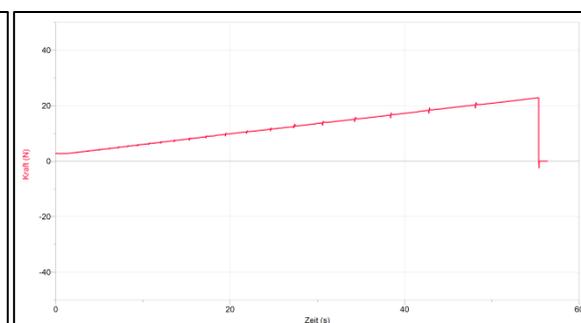


Abb.4.8: Zweite Versuchswiederholung

Abweichungen der relativen Knotentragkräfte untereinander können ihren Ursprung in manuell erzeugten Unterschieden beim Knotvorgang haben. Dennoch lassen sich aufgrund der Regelmäßigkeit der Versuchsergebnisse allgemeine Aussagen formulieren.

Abweichungen der relativen Knotentragkräfte der Schnüre sind zum einen durch unterschiedliche Herstellungsprozesse der Schnüre und somit verschiedenen Eigenschaften wie der Steifheit des Materials, zum anderen durch den Drahtdurchmesser des zum Anbinden genutzten Karabiners zu erklären, der mit 0,60 mm zwar dicker war als jede geprüfte Schnur, jedoch in unterschiedlichen Verhältnissen zu den Schnurdurchmessern stand. Somit war die Umlenkung für eine 0,50 mm dicke Schnur im Verhältnis enger als für eine 0,20 mm dicke Schnur. Von dieser Umlenkung betroffen sind ausschließlich der Clinch- und der Grinnerknoten, da diese immer im Bereich um den Karabiner rissen. Nicht von der Umlenkung beeinflusst waren, neben den linearen Tragkraftversuchen und solchen mit No-Knot, die Tragkraftversuche der Chirurgeschlaufen, weil diese ausschließlich im Knoten und nicht an dem den Karabiner berührenden Schnurstück rissen.

Die Tragkraft der Chirurgeschlaufe ist also weitestgehend unabhängig von der Drahtstärke des Karabiners. Demnach wären, insofern der Umlenkung von 0,60 mm eine Bedeutung zukommt, die relativen Tragkräfte des Clinch- und Grinnerknotens bei Verwendung eines dickeren Karabiners noch höher und somit die Differenz der Belastungsgrenze der Chirurgeschlaufe zu den anderen geprüften Knoten noch größer.

5 Zusammenfassung

Mehrere Faktoren spielen bei der Frage nach der Knotentragkraft eine Rolle.

Zunächst unterscheiden sich die maximalen Belastungsgrenzen von Knoten zu Knoten, was auf die unterschiedliche Druckbelastung der Schnur durch andere Schnurabschnitte im Knoten zurückzuführen ist. Dies lässt sich anhand der Beobachtungen (siehe 4.5) belegen.

Zum anderen besitzen Schnüre unterschiedlichen Durchmessers verschiedene, relative Knotenfestigkeiten, wobei Schnüre mit geringerer Stärke prozentual weniger an Tragkraft verlieren als dickere. Dieses Phänomen trat bei monofilen Schnüren stärker auf als bei polyfilen. So entspricht die Differenz der relativen Knotenfestigkeiten der polyfilen Schnüre mit den Durchmessern 0,10 mm und 0,25 mm in etwa der zwischen den 0,20 mm und 0,24 mm dicken, monofilen Schnüren, nämlich 5,1%, obwohl die Differenz des Durchmessers bei den polyfilen Schnüren geringer ist als bei den monofilen. Da die absolute Schnurtragkraft dickerer Schnüre dennoch höher ist als die von Schnüren mit dünnerem Durchmesser, ist der Einsatz erstgenannter in Situationen, die hohe Belastungen für die Angelschnüre bedeuten, trotz der geringeren relativen Knotentragkraft im Rahmen der geprüften Schnurdurchmesser als gerechtfertigt anzusehen.

Die Fragestellung nach dem Knoten mit der höchsten Tragkraft lässt sich zumindest hinsichtlich der drei untersuchten Varianten, dem Clinchknoten, der Chirurgeschlaufe und dem Grinnerknoten, klar beantworten. So hält der Clinchknoten bei monofilen Schnüren etwa 80% der maximalen, linearen Schnurbelastung stand und liegt im Gesamtvergleich um 12,57% höher als der Durchschnitt der anderen Knoten. Ist dennoch aufgrund der Montage die Nutzung einer Chirurgeschlaufe notwendig, so empfiehlt sich, eine möglichst dünne Schnur, welche einen geringen Tragkraftverlust besitzt, zu verwenden.

Problematisch ist die Anbindung einer geflochtenen Schnur. Hierbei sollte vollständig auf ein Anknoten verzichtet werden, da die geprüften Schnüre eine vergleichsweise geringe Knotenfestigkeit zwischen 53% und 58% besaßen. Deutlich sicherer ist die Verbindung mittels eines No-Knots, wie es bereits von einigen Anglern empfohlen wird¹³. Hiermit liegt die relative Belastungsgrenze bei etwa 89% und somit sogar über der des Clinchknotens unter Verwendung monofiler Schnüre, die lediglich bei durchschnittlich etwa 81% liegt. Somit können die Vorteile der multifilen Schnüre, die höhere Tragkraft bei geringerem Durchmesser und die vergleichsweise geringe Dehnung, voll ausgenutzt werden.

¹³Tsygankov, Victor: <http://www.simfisch.de/no-knot-verbundung/>;20.03.2014

6 Ausblick

Da im Rahmen dieser Arbeit lediglich zwei Schnurmaterialien, fünf Schnurdurchmesser und drei Knoten beziehungsweise inklusive dem No-Knot vier Anbindungsarten untersucht wurden, gibt es weiterhin ein erhebliches Potenzial weiteren Forschungsmaterials. Zum einen hinsichtlich der Vielfalt verschiedener Schnurtypen, zum anderen derer an Knoten, bei denen ebenfalls Varianten aus anderen Bereichen außer dem Angelsport zu Untersuchungen herangezogen werden könnten, beispielsweise der Schifffahrt. Außerdem ist in Anbetracht der zum Teil voneinander abweichenden Versuchsergebnisse ein Vergleich der Angelschnüre unterschiedlicher Hersteller durchaus sinnvoll, da diese verschiedene Verfahren und Qualitäten aufweisen. In diesem Zusammenhang wäre eine weitere Frage zu beantworten, die von hoher, praktischer Relevanz ist, nämlich die nach der Rechtfertigung höherer Preise durch angeblich höhere Qualität der Schnüre. Zudem geben unterschiedliche Hersteller bestimmte Empfehlungen hinsichtlich des Knotens, der die höchste Knotentragkraft bei der Verwendung der von ihnen verkauften Schnur aufweise. Eine Überprüfung dieser Angaben wäre ebenfalls eine mögliche Weiterführung der Versuche. Auch der Einbezug der Vorgänge auf molekularer Ebene oder eine Beleuchtung aus physikalisch-chemischer Sicht wäre durchaus sinnvoll.

7 Literaturverzeichnis

I. Fachbücher

1. Budworth, Geoffrey: Knoten, Bath (ISBN: 978-1-4054-5524-4)

II. Zeitungen und Zeitschriften

1. Bünting, Arndt: Drum prüfe, wer sich ewig bindet... In: Fisch und Fang 12/2013, S.14-21
2. Söring, Helmut: Knotenwelt. In: Hamburger Abendblatt 07.05.2002,
im Internet: <http://www.abendblatt.de/vermishtes/article645725/Knoten-welt.html>; 20.03.2014

III. Internetadressen

1. Autor unbekannt: <http://www.angeln.com/>; 20.03.2014
2. Heiko Fröhlich: <http://www.hecht-angeln.com/vorfachmaterialien/>; 20.03.2014
3. Tsygankov, Victor: <http://www.simfisch.de/no-knot-verbinding/>; 20.03.2014
4. <http://www.vernier.com/products/software/logger-lite/#download>; 20.03.2013
5. Schmidt, Ingolf: <http://www.asv-werne-lippetal.de/angelschnur.htm>; 19.03.2014

IV. Abbildungen

- Abb.0.2: <http://www.fischereiverein-melle.de/Fischkunde/Fische/Knoten6.gif>; 20.03.2014
- Abb.2.8: http://www.angelknotenpage.de/Knotenbank/cli_verb.htm; 11.03.2014
- Abb.2.9: http://www.angelknotenpage.de/Knotenbank/chir_schl.htm; 11.03.2014
- Abb.2.10: http://www.angelknotenpage.de/Miniatur/kl_ginner.jpg; 11.03.2014

8 Danksagung

Mein Dank gilt meinem Großvater und meinem Vater, die mir die zum Bau der Knotenprüfmaschine notwendigen Werkzeuge, Schnurproben sowie eine Werkstatt zur Verfügung stellten, ohne die die Verwendung der Wasserpumpe nicht möglich gewesen wäre. Des Weiteren möchte ich dem Jugend-Forscht-Verein für die Bereitstellung der für die Kraftmessungen notwendigen Gerätschaften und meinen Tutoren Herrn Buchholz, Frau Eckhof und Herrn Kempe für die stetige Unterstützung danken.