

Maturaarbeit

2022/2023

Natur vs. Hightech

Bau einer Fliegenrute aus Bambus und Vergleich deren Materialeigenschaften mit einer modernen Fliegenrute aus Karbon



Sven Bochmann, 5J

Unter der Leitung von Herrn Dieter Stender

Précis

Diese Arbeit befasst sich mit den Materialeigenschaften von Bambus, einem natürlichen, rasch nachwachsenden Werkstoff. Um die Eigenschaften mit modernen Werkstoffen vergleichen zu können, wurde eine Fliegenrute aus Bambus hergestellt und die Eigenschaften dieser Fliegenrute mit denen von Fliegenruten aus Karbonfasern verglichen. Die Tests haben gezeigt, dass die beiden Werkstoffe vergleichbar sind und dass das Naturprodukt beim Punkt Stabilität das High-Tech-Material übertrifft.

1. Einleitung

- 1.1. Wahl des Themas
- 1.2. Die Fliegenrute
- 1.3. Was ist Carbon
- 1.4. Bambus – ein natürlicher Faserverbundwerkstoff
- 1.5. Fragestellung

2. Bau einer gespleissten Fliegenrute aus Bambus

- 2.1. Einleitung
- 2.2. Material
- 2.3. Bearbeitung des Bambus, vom Rohr zum Spleiss
- 2.4. Bambus spalten und geradebiegen der Streifen
- 2.5. Vorhobeln der Bambusstreifen
- 2.6. Feinhobeln der Bambusstreifen
- 2.7. Verkleben von Spitzen- und Handteil
- 2.8. Zusammenbau der Rute

3. Labortests der Materialeigenschaften

- 3.1. Biegeverhalten
- 3.2. Schwingungsverhalten
- 3.3. Bruchverhalten
- 3.4. Leitfähigkeit
- 3.5. Gewicht

4. Praxistest der fertigen Fliegenrute

- 4.1. Interview mit Herrn Willy Hübscher

5. Schlussfolgerung

- 5.1. Erfahrungen aus dem Bauprozess
- 5.2. Interpretation der Testresultate
- 5.3. Überlegungen zur Nachhaltigkeit
- 5.4. Persönliches Fazit

6. Quellenangaben

7. Danksagungen

8. Zusätzlich eingereichtes Material

1. Einleitung

1.1. Wahl des Themas

Schon als ich 3 Jahre alt war, ging ich an den See um zu «fischen», ausgerüstet mit einem Stock, Paketschnur und einer Büroklammer als Angelhaken. Als ich dann in den Ferien in Finnland mit etwas besserer Ausrüstung auch den ersten Erfolg hatte, war die Faszination für die Fischerei so gross, dass ich 2020 die Fischerprüfung absolviert habe. Bis jetzt habe ich beim Fischen immer eine Rute aus Karbon verwendet.

Als die Wahl des Themas für die Maturaarbeit näher kam erinnerte ich mich daran, dass mein Vater vor einigen Jahren zwei Fischerruten zum Fliegenfischen aus Bambus gebaut hatte. Ich beschloss, auch eine solche Rute herzustellen und sie mit einer industriell hergestellten Fliegenrute aus Karbonfasern zu vergleichen.

Überall in unserem Alltag begegnen wir Karbonfasern. Immer dann, wenn ein Bauteil besonders leicht und stabil gebaut sein muss, kommt dieser besondere Werkstoff zum Einsatz. Flugzeugteile, Ski¹ und Snowboards, Prothesen in der Orthopädietechnik, Rümpfe von Booten, Formel 1 Autos und Velorahmen werden aus diesem besonderen Material hergestellt. Das Material selbst oder der Herstellungsprozess von solchen Teilen scheint sehr teuer zu sein, das merkt man spätestens dann, wenn man ein neues Velo kaufen möchte und realisiert, dass ein Velo mit Karbonrahmen doppelt so teuer ist, wie eines aus Alu. Doch was ist Karbon eigentlich, warum ist es so vielseitig einsetzbar, warum hat es so gute Eigenschaften und gibt es dazu eigentlich natürliche Alternativen? In dieser Arbeit möchte ich diesen Fragen nachgehen.



Abbildung 1: Klein Sven beim «Fischen»



Abbildung 2: ...kurz vor dem ersten Egli-Fang

1.2. Die Fliegenrute

Die Fliegenfischerei ist eine besondere Form des Fischens. Wie der Name schon sagt, verwendet man dabei einen kleinen, künstlichen Köder aus Federn, welcher ein auf dem Wasser schwimmendes oder ein ertrunkenes Insekt imitieren soll. Diese Form der Fischerei wird vor allem an Fließgewässern ausgeübt. Da die Fliege auf dem Wasser schwimmen soll, muss sie sehr leicht sein. Das Problem dabei ist, dass ein so leichter Köder nicht einfach ausgeworfen werden kann, weil das sonst beim Fischen übliche Blei oder Metallgewicht fehlt. Beim Fliegenfischen besteht das Wurfgewicht aus der Fliegenschnur. Diese ist zwar viel dicker als eine gewöhnliche Angelschnur, muss aber auch leicht sein, da auch sie auf dem Wasser schwimmen muss. Zwischen der Fliegenschnur und dem Fliegenköder befindet sich eine etwa zwei Meter lange Vorfachschnur aus sehr dünnem Nylon, welche nur etwa 0.12 - 0.15 mm dick ist. So wird das natürliche Schwimmverhalten der Fliege in der Strömung nicht gestört. Die Aufgabe der Fliegenrute ist es, die Fliegenschnur mit dem Fliegenköder so auszuwerfen, dass die Fliege genau dort landet, wo der Fischer oder die Fischerin einen Fisch vermutet. Beim Werfen werden Weiten von 10 - 15 Meter erzielt. Die Rute wird hin und her geschwungen und wirkt wie eine Feder, welche die Schnur nach vorne bzw. hinten schleudert. Eine schöne Darstellung der Fliegenfischerei findet sich im Film «a river runs through it» von Robert Redford 1992.

Die Anforderungen an die Fliegenrute sind sehr vielfältig. Sie muss sehr leicht sein, damit der Fischer / die Fischerin beim Werfen nicht ermüdet. Die Fliegenrute hat in der Regel eine sehr feine Spitze, welche dämpfend wirkt, damit die feine Vorfachschnur nicht reisst, wenn einmal ein Fisch angebissen haben sollte. Gleichzeitig muss die Fliegenrute im hinteren Bereich genügend Rückstellkraft oder Elastizität haben, damit beim Werfen die Energie

gespeichert und dann wieder an die Fliegenschnur abgegeben werden kann. Ausserdem sollte die Rute für den Transport zusammensteckbar sein. Die modernen Fliegenruten sind aus Karbon industriell gefertigt und recht teuer (bis zu CHF 1'000.-). Die Fliegenruten werden je nach Schnurgewicht in verschiedene Klassen von 0 - 10 eingeteilt. Fliegenruten der Klasse 4 - 6 eignen sich für das Fischen auf Forellen, schwerere Fliegenruten werden für den Fang von Meerforellen und Lachsen verwendet (Zweihandruten der Klasse 8 - 10).



Abbildung 3: Szene aus dem Film «a river runs through it» (Screenshot aus Internet)

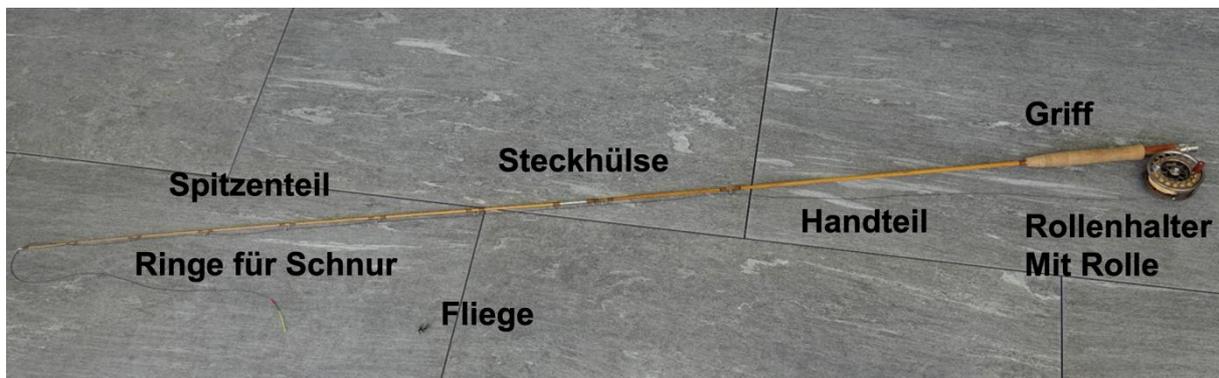


Abbildung 4: Fliegenrute aus Bambus mit Beschriftungen

1.3. Was ist Karbon

Kohlefasern sind dünne Filamente aus Kohlenstoff mit einem Durchmesser von 5 - 9 Mikrometern (so dick wie ein rotes Blutkörperchen). Hergestellt werden Kohlefasern aus organischem Material, meistens Polyacrylnitril. In einem energieaufwendigen und wochenlangen Prozess wird das Material zu unschmelzbaren Fasern stabilisiert und dann bei sehr hohen Temperaturen von 2'000 - 3'000 °C karbonisiert. Das heisst, alle Elemente bis auf den Kohlenstoff werden abgespalten.² Interessanterweise wurde die erste Kohlefaser

von Thomas Edison für seine Glühlampe genau aus Bambusfasern durch Pyrolyse hergestellt. Das Verfahren wurde patentiert.³

Aus diesen Kohlefasern werden dann Fäden und Gewebe hergestellt. Diese Fäden und Gewebe werden bei der Verarbeitung in ein flüssiges Material, meist Harz eingebettet. Diese Matrix härtet aus und verbindet die Fasern wie ein starker Klebstoff. Das so entstandene Material nennt man einen Faserverbundwerkstoff. Vorstellen kann man sich die Funktionsweise wie Stahlbeton. Die Armierungseisen sind die Fasern und der Beton der Kleber, welcher die Fasern verbindet. Faserverbundwerkstoffe sind in der Industrie weit verbreitet. Meist werden aber nicht Kohlefasern verwendet, sondern Glasfasern. In Europa wurden im Jahr 2009 ungefähr 815'000 Tonnen Faserverbundwerkstoffe verarbeitet.⁴

1.4. Bambus – ein natürlicher Faserverbundwerkstoff

1.4.1. Bambus allgemein

Bambus (*Bambusoideae*) gehört zu einer der 12 Unterfamilien aus der Familie der Süssgräser (*Poaceae*). Die Unterfamilie wird in drei Stämme geteilt. Die Arten der *Arundinareae* und *Bambuseae* wachsen verholzend, die Arten der *Olyreae* wachsen krautig. Die Pflanze gedeiht auf Meereshöhe im feuchtheissen Klima der Tropen und Subtropen, aber auch an Gebirgshängen, sogar bis in Höhenlagen von 4000 m ü. M. Die Grösse der Halme variiert je nach Art stark, sie können 15 cm hoch und wenige mm dick sein oder bis 30 m hoch, mit einem Durchmesser von 30 cm, wachsen. Die meisten Arten wachsen innen hohl und haben an den Stellen der Nodien (Halmknoten) dünne Scheidewände (Diaphragmen).⁸ Bambushalme haben kein Dickenwachstum und kommen mit dem definitiven Umfang aus dem Boden. Sie wachsen aus einem netzartigen Wurzelsystem (Rhizom) heraus und erreichen ihre Maximalhöhe schon im ersten Jahr, in den folgenden 6 – 8 Jahren verholzen die Stängel.⁵

Das Bambusrohr ist ein Musterbeispiel für pflanzliche Leichtbauweise. Die äusserste verkieselte Randschicht (Emaillé) ist sehr hart. In ihr laufen parallel zur Wachstumsrichtung hochelastische Fasern ($L = 0,6 - 3,96 \text{ mm}$; $B = 0,007 - 0,036 \text{ mm}$) mit einer Zugfestigkeit bis zu 40 kN/cm^2 . Die sehr flexiblen Fasern sind in eine füllende Grundmasse aus Zellen eingebettet. Die Zellen enthalten in ihrer Zellwand Lignin, eine Art Klebstoff, welche dem Bambus seine Druckstabilität verleiht.⁵ Somit erfüllt Bambus die Kriterien eines Faserverbundwerkstoffes.

Durch sein rekordverdächtig schnelles Wachstum bindet Bambus bis zu viermal mehr CO_2 aus der Luft als hiesige Bäume. Für den Anbau von Bambus kann überwiegend auf künstliche Bewässerung und auf Pestizide oder Kunstdünger verzichtet werden. Das verzweigte Wurzelsystem (Rhizom) festigt den Boden und kann dazu beitragen,

Bodenerosion zu vermindern. In Äthiopien wird diese Eigenschaft dafür eingesetzt, um die Wüste zurück zu drängen.⁹

1.4.2. Tonkin Bambus

Wayne Cattanaich bezeichnet Tonkin Bambus (*Arundinaria amabilis*) als den idealen Baustoff für den Bau von Fliegenfischerruten. Dieser Bambus wird in den Hügeln der chinesischen Provinzen Kwangsi und Kwantung entlang des Flusses Sui kultiviert. Nur dort wächst der Tonkin Bambus so, dass er die idealen Eigenschaften für den Rutenbau aufweist. Im Handel sind Stäbe in der Länge von 3.5 m und einer Dicke von 5 cm erhältlich.⁷

1.5. Fragestellung

Die Eigenschaften des verwendeten Baumaterials beeinflussen die Eigenschaften des fertigen Produktes. Die gewünschten Eigenschaften einer Fliegenrute bestimmen deshalb im Wesentlichen, ob sich ein Baumaterial eignet oder nicht. Die Qualitätsansprüche an eine Fliegenrute sind das Gewicht, die Stabilität, das Biegeverhalten bzw. die Aktion, die Flexibilität, die elektrische Leitfähigkeit und heute besonders wichtig, die Nachhaltigkeit.

Die meisten Fliegenruten werden heute aus Karbonfasern hergestellt, selten finden sich noch Ruten aus Bambus. Früher wurden sie jedoch vorwiegend aus Bambus hergestellt. In meiner Arbeit möchte ich gerne die Frage beantworten, ob modernen Fliegenruten aus Karbonfasern die gewünschten Eigenschaften wirklich viel besser erfüllen als eine «altmodische» Rute aus gespleisstem Bambus oder ob es sogar Punkte gibt, in denen das altbewährte Material besser abschneidet.

Um diesen Fragen nachzugehen, stelle ich eine Fliegenrute aus Bambus her und vergleiche diese dann mit einer modernen Fliegenrute aus Karbon. Damit ich objektive Daten erhalte, werden die Ruten und das verwendete Material im Labor und «im Feld» vergleichenden Tests unterzogen. Folgende Aspekte beurteile ich dabei als besonders wichtig:

1. Wurfverhalten beim Fischen

Die Fliegenrute muss die Schnur mit der Fliege mit ausreichender Präzision auf eine ausreichende Distanz auswerfen können.

2. Biegeverhalten / Aktion / Flexibilität

Diese Merkmale beeinflussen die Wurfweite und die Präzision und werden mit den Begriffen Aktion und Schnurklasse beschrieben.

3. Stabilität

Die Fliegenrute ist beim Fischen einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt. Sie muss stabil genug sein, um Transport, Hängenbleiben im Gestrüpp oder einen Schlag gegen einen Ast oder Stein auszuhalten.

4. Elektrische Leitfähigkeit

Immer wieder kommt es vor, dass Fischer*innen einer elektrischen Leitung zu nahe kommen und einen Stromschlag erleiden. Die elektrische Leitfähigkeit der Fliegenrute darf deshalb nicht vernachlässigt werden.

5. Gewicht

Die Fliegenrute sollte leicht sein. Nur so liegt sie ausgewogen in der Hand und erlaubt ein ermüdungsfreies Werfen über eine lange Zeit.

Die Nachhaltigkeit eines Produktes finde ich sehr wichtig. Aus Zeitgründen verzichte ich jedoch darauf, Karbon und Bambus auf diesen Aspekt vergleichend zu analysieren. Ich beschränke mich darauf, Informationen über die Nachhaltigkeit des Rohmaterials Bambus zu finden.

2. Bau einer gespleissten Fliegenrute aus Bambus

2.1. Einleitung

Da der Bau der gespleissten Fliegenrute ein elementarer Bestandteil meiner Maturaarbeit ist, möchte ich auch in der schriftlichen Arbeit darauf eingehen. Im Arbeitsjournal sind alle Arbeitsschritte genau dokumentiert. Hier sind nur die wichtigen Arbeitsschritte skizziert, wie aus einem Bambusrohr ein Hand- und Spitzenteil aus je 6 einzelnen Bambus-Spleissen entsteht und diese dann mit Kleinteilen aus dem Fachhandel zu einer fertigen Rute zusammengefügt werden.

Beim Bau der Rute orientiere ich mich an den Arbeitsschritten, welche im Buch von Wayne Cattanach über Bambusrutenbau beschrieben sind.⁷

2.2. Material

Bei der Materialliste unterscheiden wir Baumaterial, Werkzeug und Verbrauchsmaterial. Ein Teil des Benötigten Materials war vom früheren Rutenbau-Projekt meines Vaters schon vorhanden und musste nur noch bereitgestellt werden. Im Folgenden ist aufgelistet, was zum Bau der Rute notwendig ist.

2.2.1. Baumaterial

- Tonkin-Bambus, mindestens 10 Jahre trocken gelagert. Vor 10 Jahren hat mein Vater bei einem Rutenbauer aus der Ostschweiz eine grössere Menge Bambus gekauft, davon wird für mein Bauprojekt ein Rohr von ca. 1,5 m bereitgestellt.
- Das sonstige Material zum Bau der Rute wie Leit- und Schlangenringe, Steckhülsen aus Nickelsilber, Bindeseide, Korkgriff und Rollenhalter habe ich im Internet über einen Händler aus Italien bezogen.

2.2.2. Werkzeug

- Die Hobelform aus Stahl zum Feinhobeln der Spleisse war bereits vorhanden. Auch diese wurde von einem Rutenbauer in der Ostschweiz bezogen. Dieser hat die Hobelformen selbst hergestellt. Sie verfügt über Stellschrauben in einem Abstand von 5 Inch. Diese imperiale Masseinheit wird verwendet, da die meisten Rutenbaupläne in diesem Längenmass angegeben sind.
- Messlehre zum Einstellen der Hobelform.

- Die Hobelform aus Holz zum groben Vorhobeln der Spleisse war ebenfalls schon vorhanden, mein Vater hat diese selbst hergestellt.
- Zum Hobeln der Spleisse wird ein Präzisionshobel benötigt. Die in der Literatur beschriebenen Hobel habe ich im Baumarkt nicht gefunden. Ich habe mich deshalb für einen Sims-Hobel der Firma Rali entschieden. Das Werkzeug hat sich als ausreichend präzise herausgestellt.
- Heissluft-Fön, mit passendem Aufsatz für Metallrohr
- Metallrohr zum Bau eines kleinen Ofens zum „Backen der Spleisse“.
- Zusätzlich braucht es noch eine Laubsäge, einen Stechbeitel, Klemmen, Schraubzwingen, Schraubenschlüssel, eine Feile, Gartenhandschuhe (als Fingerschutz) und eine Werkbank mit Schraubstock.

2.2.3. Verbrauchsmaterial

Folgendes Verbrauchsmaterial habe ich im Baumarkt gekauft: Hobelklingen für den Sims-Hobel, Baumwollschnur, Schleifpapier Körnung 80-400, Bootslack (Silamar von Knuchel), Pinsel und Zweikomponenten-Kleber (Epoxid-Kleber von UHU Plus Endfest 90 Minuten).

2.3. Bearbeitung des Bambus - vom Rohr zum Spleiss

Dieses Bild dient der Visualisierung der Fortschritte zwischen den Kapiteln 2.4. und 2.6



Abbildung 5: Die verschiedenen Stadien vom rohen Bambusrohr (oben) bis zum fertig gehobelten Bambus-Streifen vor dem Verleimen (unten).

2.4. Bambus Spalten und geradebiegen der Streifen

Vom Bambusrohr werden mit Hilfe eines Stecheisens 1.2 – 1.5 cm breite Streifen abgespalten. An den Knoten muss das Stecheisen jeweils neu angesetzt werden, damit der Streifen auf der ganzen Länge gleich breit ist. Zum Bau der Rute werden insgesamt 12 einzelne Spleisse benötigt, als Reserve wird noch ein weiterer Streifen vorbereitet.

Der Bambus ist an den Knoten jeweils verdickt. Diese Stellen werden an der Innen- und Aussenseite mit einer Feile abgetragen. Da in der Aussenseite (Emaile) die Krafftasern verlaufen, wird darauf geachtet, dass die Knoten dort nur abgetragen werden, die Schicht aber möglichst intakt bleibt.

An den Knoten machen die Bambusstreifen jeweils einen leichten Knick. Das würde beim Hobeln der Spleisse stören. Die Streifen müssen deshalb an den Knoten geradegebogen werden. Dazu werden sie über einem Heissluftfön erwärmt und dann im Schraubstock eingespannt und gerichtet.



Abbildung 6: Feilen der Knoten



Abbildung 7: Erwärmen der Knoten Abbildung 8: geradegebogener Streifen

2.5. Vorhobeln der Bambusstreifen

Beim Vorhobeln werden die begradigten Bambusstreifen so bearbeitet, dass sie nach dem Arbeitsschritt ungefähr den Querschnitt eines gleichseitigen Dreiecks aufweisen. Die Streifen werden jeweils nur an den beiden Markseiten abgeschliffen, die Emaille-Schicht wird nicht bearbeitet. Die Hobelform besteht aus zwei zusammengeklebten Leisten aus Buchenholz. In der Mitte ist eine asymmetrische Nut welche es erlaubt, die Bambusstreifen so einzuspannen, dass beim Hobeln der gewünschte 60° Winkel erzielt werden kann. Die Bambusrohlinge haben etwa die Form eines viereckigen Ringsegmentes. Zum Hobeln werden die Rohlinge mit einer Klemme in der Nut der Hobelform fixiert. So können sie beim Hobeln nicht wegrutschen. (Für mich war es sehr schwer, die Bambusstreifen so zu fixieren, dass sie beim Hobeln nicht wieder aus dem vorgegebenen Winkel herausrutschten.) Damit die Bambusstreifen gleichmässig abgehobelt werden, wird folgendermassen vorgegangen:

- Die Streifen werden mit einer Klemme in der einen Hälfte fixiert, damit die andere Hälfte bearbeitet werden kann.
- Der Hobel muss so geführt werden, dass er genau waagrecht ist, es soll nur minimaler Druck auf den Streifen ausgeübt werden.
- Nun wird der Hobel in einem Zug von der Mitte zur Spitze gezogen.
- Nach vier Zügen werden die Klammern auf die eben gehobelte Seite umgesetzt und wieder wie eben beschrieben mit vier Zügen gehobelt.
- Jetzt wird der Streifen um 180° gewendet, so dass an der gegenüberliegenden Seite gehobelt werden kann. An der Seite der Emaille wird nicht gehobelt.

- Nach jedem Hobelzyklus muss der Winkel mit einer 60° Schablone kontrolliert werden. Das ist wichtig, damit ein allfälliger Fehlwinkel beim nächsten Hobelzyklus ausgeglichen werden kann.
- Der Vorgang muss wiederholt werden, bis der Querschnitt des Bambusstreifens einem gleichseitigen Dreieck entspricht.

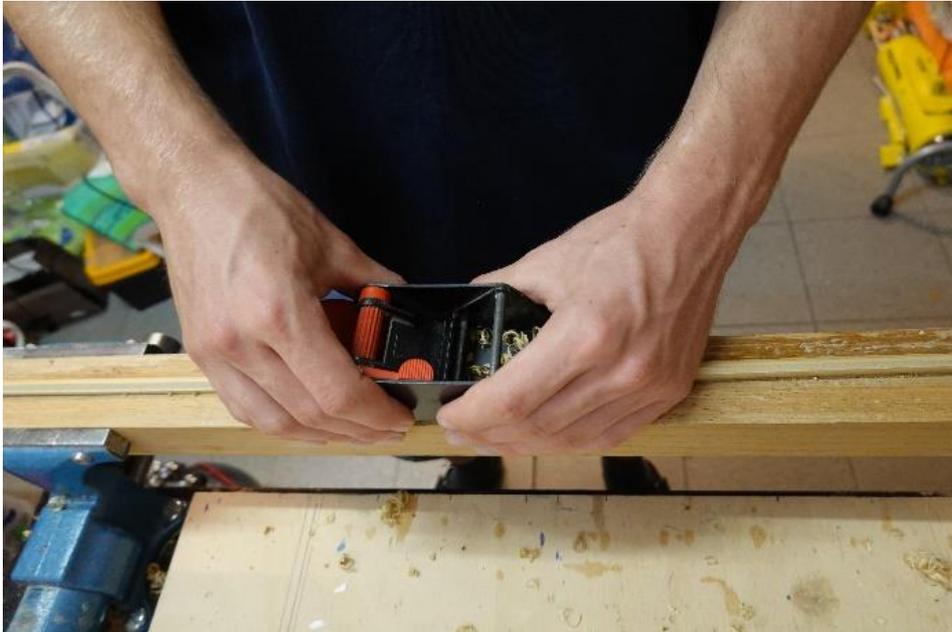


Abbildung 9: Vorhobeln der Spleisse

2.6. Feinhobeln der Bambusstreifen

Beim Feinhobeln werden die Streifen im ersten Arbeitsschritt in eine Vorform gehobelt und erst im zweiten Arbeitsschritt in die präzise Endform.

Die Hobelform besteht aus zwei Stahlbalken, an der Ober- und Unterseite befindet sich in der Mitte je eine Nut. Beide haben einen sich verjüngenden 60° Winkel. Die obere Seite hat eine tiefere Nut und dient daher als Form für das Griffteil, die Nut an der Unterseite dient als Form für das Hobeln des schmaleren Spitzenteils. Die Stahlbalken werden durch 13 Schraubenpaare zusammengehalten. Je eine Schraube eines Paares hat die Funktion, die Balken zusammenzuziehen, während der Gegenspieler die Balken auseinanderdrückt. Die Schrauben können mit einem Schraubenschlüssel verstellt werden. Die Form kann so eingestellt werden, dass die Nut in der Mitte am jeweiligen Ort die gewünschte Tiefe erhält. In dieser Vorlage können die Bambusspleisse in eine sich stets verjüngende Kegelform gehobelt werden. Die Art, wie sich die Spleisse verjüngen nennt sich «Taper». Das Taper bestimmt die Form und damit die Aktion bzw. die Eigenschaft der fertigen Rute. Wie oben erwähnt, wird für das Vorhobeln noch kein verjüngendes Taper eingestellt, so dass alle

Streifen nach dem Arbeitsschritt gleich dick sind. Nach dem ersten Arbeitsschritt sind alle Streifen etwa 3 cm dick und haben auf allen Seiten einen Winkel von 60°.

Jetzt wird bei allen Streifen die Emaile mit Schleifpapier fein angeschliffen, damit der Lack später besser am Bambus haftet.

Nun werden je 6 Streifen für das Griff- und das Spitzenteil ausgewählt. Da die Knotenstellen die Schwachstellen der Bambusstreifen sind, müssen die 6 Streifen so aneinander arrangiert werden, dass sich die Knotenstellen nicht überlagern und regelmässig über das Rutenteil verteilt sind. Mit einer Laubsäge werden die Streifen sorgfältig auf 110 cm abgelängt.

Nun werden die zwei Bündel mit Hilfe einer dünnen Baumwollschnur zusammengebunden, so dass die Emaillen aussen sind und sich die gehobelten Seiten berühren. Die Bündel werden nacheinander in eine geschlossene Metallröhre gelegt. Diese wird mit warmer Luft aus einem Heissluftfön durchströmt, so dass ein kleiner «Umluftbackofen» entsteht. Das Erhitzen hat folgenden Zweck: die Streifen werden begradigt und gehärtet, sowie zusätzlich getrocknet für eine bessere Haltbarkeit der fertigen Rute. Es ist wichtig, dass die Streifen nicht zu stark erhitzt werden, da sie sonst spröde werden und sich dunkel verfärben. Nach dem Abkühlen wird die Baumwollschnur wieder entfernt.



Abbildung 10: Hitzebehandlung des Bündels in Metallrohr

Nun werden die Streifen in die finale Form gehobelt. Deswegen muss die Einstellung der Hobelform sehr präzise sein. Als Rutenform habe ich mich für ein Taper von Wayne Cattnach entschieden, nämlich Modell 7042 Sir D in der Länge von 7 Fuss, für eine Schnurklasse 5. Diese Form wird zum Bau einer All-Round-Rute für Einsteiger empfohlen.

Für das Hand- bzw. Spitzenteil werden folgende Masse mit Hilfe des Tiefenmessers und der Stellschrauben an der Hobelform eingestellt:

| Griffteil | | Spitzenteil | |
|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Länge (Inches) | Tiefe/Radius (mm) | Länge (Inches) | Tiefe/Radius (mm) |
| 42.5 | 2.482 | 0 | 0.86 |
| 45 | 2.635 | 5 | 0.92 |
| 50 | 2.723 | 10 | 1.073 |
| 55 | 2.800 | 15 | 1.327 |
| 60 | 3.118 | 20 | 1.568 |
| 65 | 3.295 | 25 | 1.746 |
| 70 | 3.473 | 30 | 1.935 |
| 75 | 3.753 | 35 | 2.103 |
| 80 | 3.753 | 40 | 2.242 |
| 85 | 3.753 | 42.5 | 2.482 |

Im Plan von Wayne Cattnach sind alle Massangaben in Inches angegeben. Sie mussten also erst in mm umgerechnet und halbiert werden, um die Dicke des jeweiligen Spleisses zu erhalten. Aus diesem Grund ist die obenstehende Tabelle in Inches und mm angegeben.



Abbildung 11: Mit Hilfe einer Tiefenlehre wird die Tiefe der Kerbe gemessen und die Stellschrauben mit dem Schraubenschlüssel eingestellt.

Als Erstes werden die Masse vom Griffteil eingestellt und so 6 Streifen bearbeitet. Zum Hobeln der Spleisse werden diese wieder mit einer Klemme in der Hobelform fixiert. Bei jedem Hobelzug wird nur minimalen Druck ausgeübt, so dass jeweils nur ganz wenig Material abgehobelt wird. Es ist nicht ganz einfach den Hobel so zu führen, dass er gerade läuft. Mit den Einstellungen des Griffteils werden nun auch die 6 Streifen des Spitzenteils ein weiteres Mal vorgehobelt. Nun wird die Form umgekehrt und die Taper-Werte für das Spitzenteil eingestellt. (Das Hobeln des Spitzenteils ist Feinarbeit und war sehr anspruchsvoll für mich.) In der Abbildung unten ist zu erkennen, wie dünn ein einzelner Spleiss an der Spitze ist.

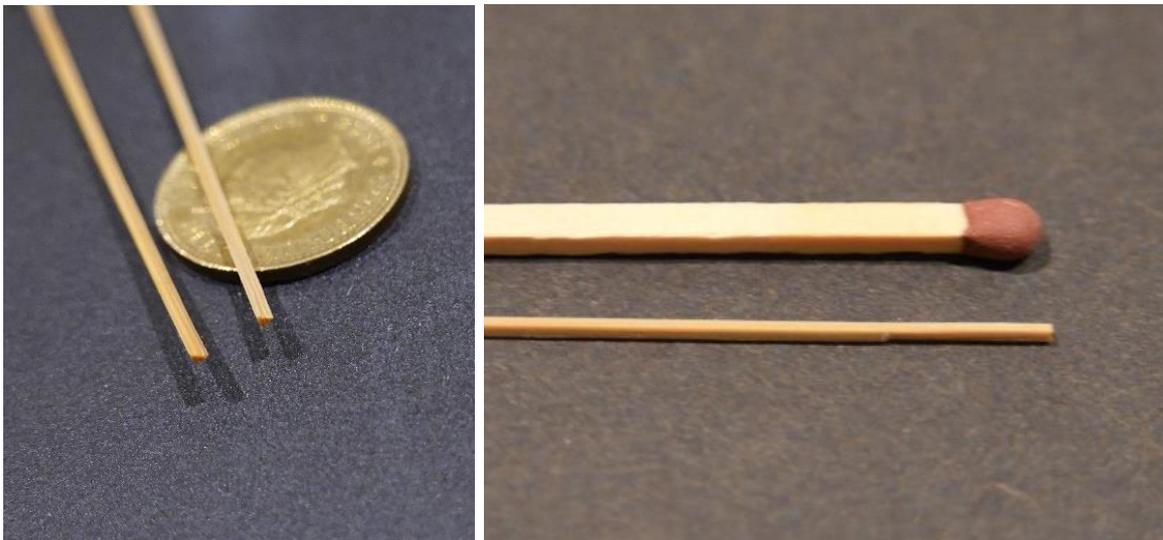


Abbildung 12: Spleisse des Spitzenteils im Vergleich zu einer Münze bzw. einem Streichholz

2.7. Verkleben von Spitzen- und Handteil

Die 6 Streifen werden nun so angeordnet, dass die Knotenstellen versetzt liegen. Danach werden sie so zu einem Bündel zusammengehalten, wie die endgültige Rute zusammengeklebt werden soll (hexagonal, Emailen aussen). Das Bündel wird alle 10 cm mit einem Streifen Malerabdeckklebeband zusammengeklebt. Mit Hilfe eines Präzisionsmessers werden die Klebebandringe jeweils auf gleicher Höhe durchtrennt, so dass das Bündel wieder aufgeklappt werden kann. Nun wird der Zweikomponenten-Leim (UHU Plus Endfest 90min) angemischt. Dieser Leim wird mit einer groben Zahnbürste auf alle Innenflächen dünn aufgetragen und danach das Bündel wieder geschlossen. Der überstehende Leim wird mit einem Aceton getränkten Lappen abgewischt. Danach wird das Bündel mit einem Baumwollfaden satt umwickelt und auf der Holzunterlage wie ein Wallholz hin und her gerollt. Das ist wichtig, dass sich die Bambusstreifen gerade in der hexagonalen Form einordnen, bevor der Klebstoff aushärtet. Das Bündel wird zum Aushärten für 12 Stunden flach auf ein

Holz Brett gelegt. Der überstehende Leim muss nun sorgfältig mit Schleifpapier 280er Körnung abgeschliffen werden. Dabei ist wichtig, dass der Schleifblock gerade geführt wird, um nicht die Kanten rund zu schleifen. Dies würde sonst die Wurfeigenschaften der Rute beeinträchtigen. Mit dem Spitzen- und Handteil wird gleich verfahren.



Abbildung 13: Handteil mit Klebeband fixiert



14: Handteil nach dem verkleben mit Zweikomponenten-Leim

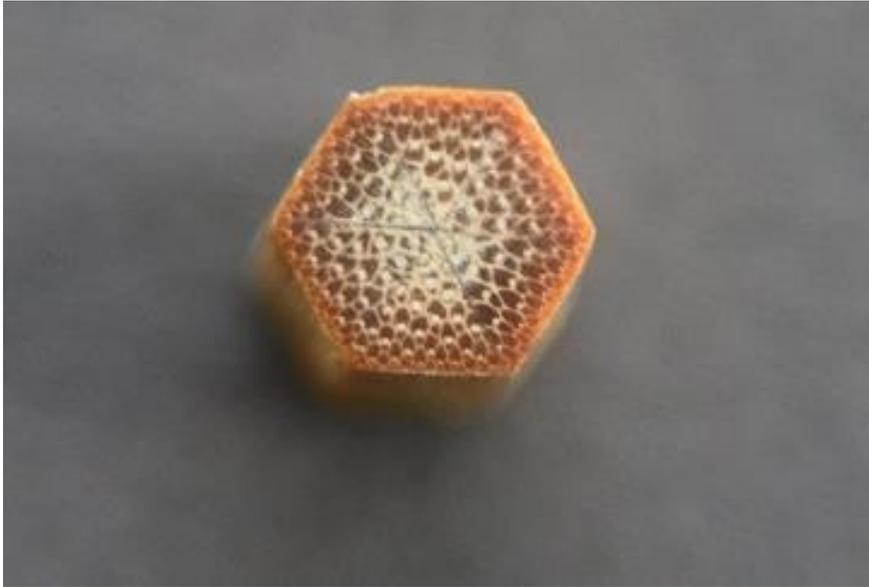


Abbildung 15: Querschnitt des Handteils, Durchmesser 7.5mm



Abbildung 16: Vergleich Spitzenteil und ein abgesägtes Stück vom Handteil

2.8. Zusammenbau der Rute

Schliesslich kann die Rute zusammengebaut werden. Die Steckhülsen aus Metall müssen zuerst noch eingepasst werden. Sie gehören auf das dünne Ende des Griffteils und das dicke Ende des Spitzenteils. Um sie einzupassen, werden die Kanten vorsichtig abgeschliffen, bis die Hülsen satt passen. Mit wenig Zweikomponenten-Leim werden die Hülsen fixiert. Das Kork-Handteil und der Rollenhalter muss jetzt am Handteil angepasst werden. Die beiden Teile werden ebenfalls mit Zweikomponenten-Leim fixiert.

Die Schlangenringe, der Führungsring und der Spitzenring werden mit feinem Seidenfaden an der Rute befestigt. Die Metallteile werden zuerst mit wenig Zweikomponenten-Kleber an

der gewünschten Stelle fixiert. Der Faden wird straff und dicht gewickelt und das freie Fadenende mit der vorgelegten Schlinge unter die Wicklung gezogen.

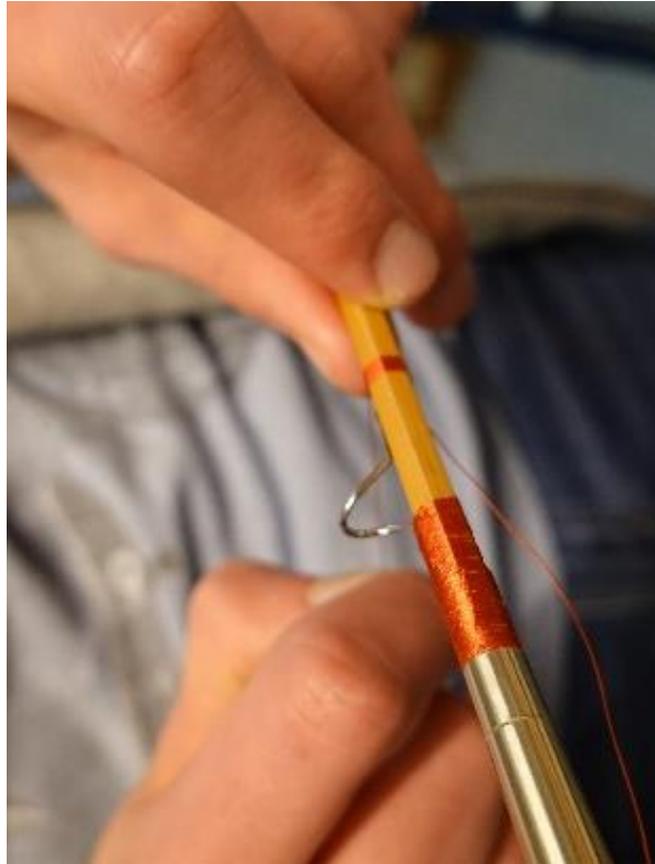


Abbildung 17: Befestigen der Ringe mit Seidenfaden-Wicklung.

Im letzten Arbeitsschritt wird die Rute mit Bootslack eingestrichen. Es werden drei dünne Schichten mit einem Flachpinsel aufgetragen. Der Lack macht die Rute widerstandsfähig und wasserdicht.



Abbildung 18: Gekaufte Bestandteile der Rute, vor der Montage.



Abbildung 19: Die fertige Fliegenrute

3. Labortests der Materialeigenschaften

In den Labortests geht es darum, die Eigenschaften einer Fliegenrute aus Bambus im Vergleich zu einer Karbonrute zu untersuchen.

3.1. Biegeverhalten

3.1.1. Einleitung

Bei diesem Test soll das Biegeverhalten von verschiedenen Fliegenruten untersucht werden. Zum Testen stehen drei von Hand hergestellte baugleiche Bambusruten unterschiedlichen Alters und zwei vergleichbare Karbonruten zur Verfügung.

- Bambusrute 7 Fuss, Schnurklasse #5, 2012
- Bambusrute 7 Fuss, Schnurklasse #5, 2014
- **Bambusrute 7 Fuss, Schnurklasse #5, 2022** (die von mir gebaute Fliegenrute)
- Karbonrute 7 Fuss, Schnurklasse #4-5, "Silstar"
- Karbonrute 8 Fuss, Schnurklasse #5, "Aberdeen"

3.1.2. Versuchsaufbau

Zuerst wird eine Wand mit Packpapier abgedeckt, damit die Messpunkte darauf eintragen werden können. Danach wird die Auflagefläche des Ständers mit Karton eingekleidet und die Rute (Bambus 2012) darauf fixiert. Mit einem Keil unter dem Griff wird die Rute so ausgerichtet, dass sich die Spitze (im Ruhezustand) auf gleicher Höhe wie die Unterkante des Rutengriffs befindet. Damit wird gewährleistet, dass der Ausgangspunkt bei jedem Versuch gleich hoch ist. Der Rutengriff wird an zwei Stellen mit Malerabdeckklebeband mehrfach umwickelt und so am Ständer fixiert. An der Rutenspitze wird eine halb geöffnete Büroklammer befestigt. Der Ausgangspunkt der Spitze wird auf der Wand markiert.



Abbildung 20: Die auf einem Gestell befestigte Fliegenrute bereit zum Testen

3.1.3. Versuchsdurchführung

Dieser Versuch wird mit der Bambusrute 2012, der Bambusrute 2014, meiner Bambusrute und zwei Karbonruten durchgeführt. Das Vorgehen ist jeweils identisch.

An der Spitze wird ein Gewicht (Fischerblei) angehängt und die Position der Spitze auf dem Packpapier markiert. Das erste Gewicht ist 20 Gramm schwer. Bei jeder Messung wird die Last um 20 Gramm erhöht, bis das Blei den Boden berührt, was bei den Bambusruten zwischen 160g und 180g eingetreten ist. Bei den Karbonruten ist dies zwischen 140g und 160g eingetreten. Ich habe darauf geachtet schnell zu arbeiten, da die Ruten durch längeres starkes Biegen beschädigt werden könnten.

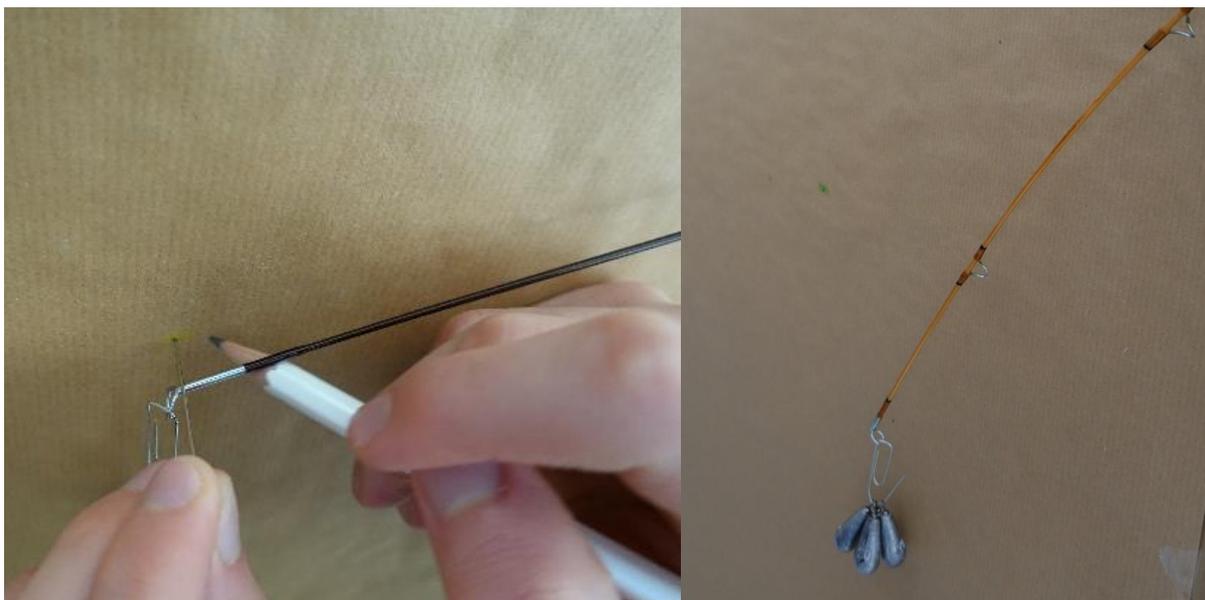


Abbildung 21: Markieren der Spitzen-Position; Biegung durch hohes Gewicht

3.1.4. Resultate

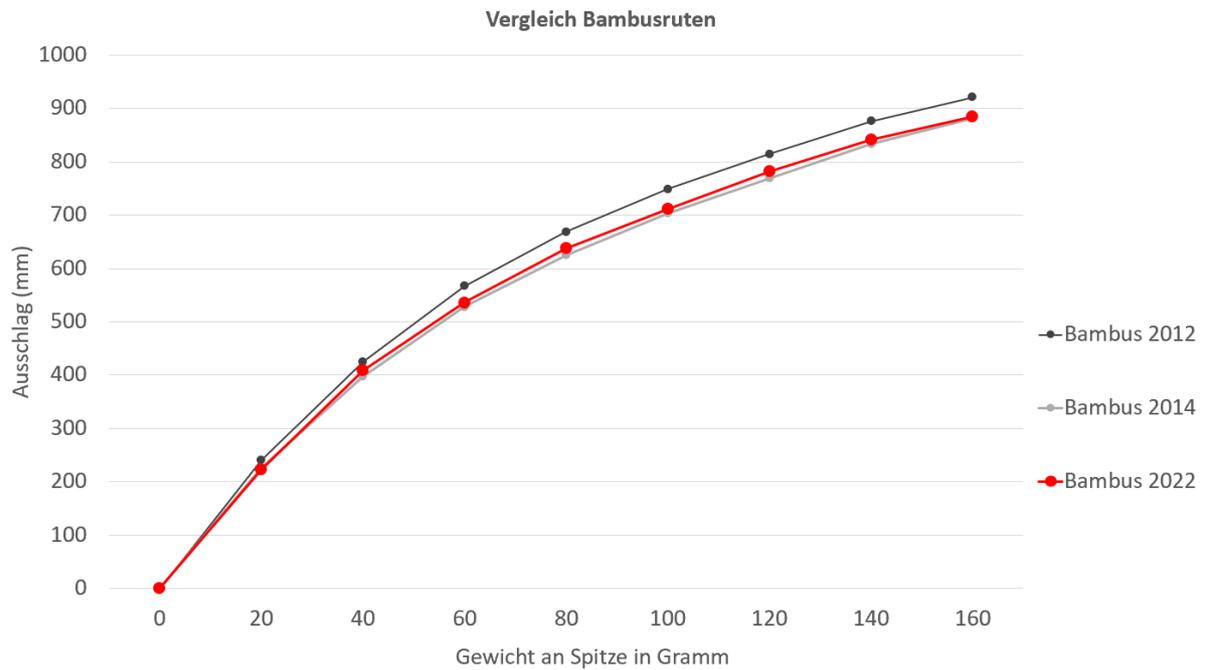


Abbildung 22: Biegekurve von drei baugleichen Bambusruten von 2012, 2014 und 2022

In diesem Vergleich der Bambusruten sieht man, dass alle drei Ruten ein sehr ähnliches Biegeverhalten aufweisen. Die Ruten 2014 und 2022 sind praktisch identisch. Die Rute 2012 zeigt beim gleichen Gewicht eine höhere Auslenkung, was zeigt, dass sie etwas weicher ist.

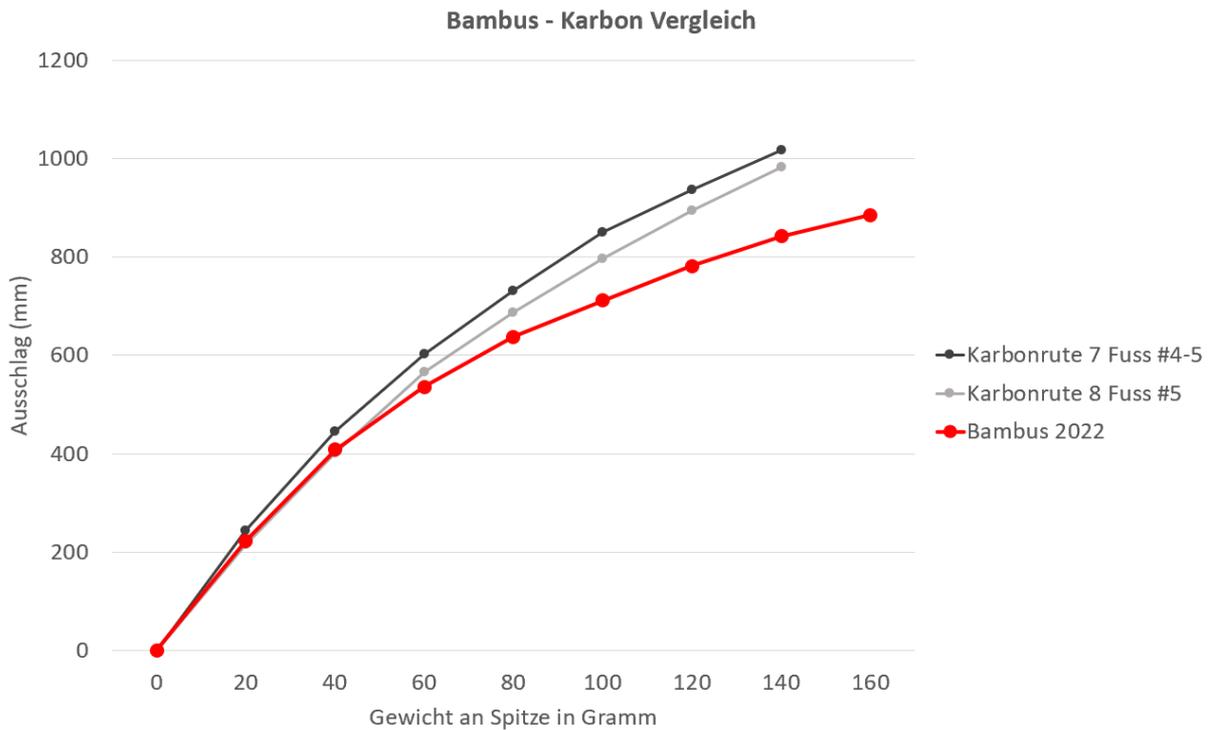


Abbildung 23: Biegekurve von drei unterschiedlichen Fliegenruten, meine Bambus Fliegenrute von 2022 und zwei Karbonruten.

Dieses Diagramm zeigt den Vergleich meiner Bambusrute zu zwei Karbonruten mit unterschiedlicher Länge. Die 7-Fuss-Rute ist gleich lang wie meine, die 8-Fuss-Rute ist ein Fuss länger. Alle 3 Ruten sind für ein Schnurgewicht von #4-5 bzw. von #5 ausgelegt, deshalb sind die Resultate trotz des Längenunterschiedes vergleichbarer. Bei einem tieferen Gewicht (bis 40 g) verhält sich die Karbonrute 8 Fuss wie die Rute Bambus 2022. Bei höheren Gewichten gehen die Kurven jedoch stark auseinander.

3.2. Schwingungsverhalten

3.2.1. Einleitung

Bei diesem Versuch wird die Federkonstante der Fliegenrute ermittelt. Die Federkonstante ist ein Mass für die Federhärte. Danach wird das Schwingungsverhalten mit zwei verschiedenen Tests untersucht. Beim Versuch «Fallblei» wird die Schwingung der Ruten bei plötzlicher Belastung gemessen, beim Versuch «Rebound» wird die Schwingung bei plötzlicher Entlastung dokumentiert. Die folgenden drei Ruten werden vergleichend getestet:

- **Bambusrute 7 Fuss, Schnurklasse #5, 2022** (die von mir gebaute Fliegenrute)
- Karbonrute 7 Fuss, Schnurklasse #4-5, "Silstar"
- Karbonrute 8 Fuss, Schnurklasse #5, "Aberdeen"

3.2.2. Versuchsaufbau

Die Ruten werden jeweils so fixiert und positioniert, wie im Kapitel 3.1.2. beschrieben. Hinter der Rutenspitze wird ein Messband befestigt, um die maximale Auslenkung bei der Schwingung zu messen. Für die Aufzeichnung wird ein Handy (SE 2020 Apple) so positioniert, dass die gesamte Schwingung gefilmt werden kann, die Einstellung der Aufnahme wird auf 60 fps (Frames per Second) eingestellt.

3.2.3. Versuchsdurchführung

Als erstes wird die Federkonstante D der Ruten nach der Formel $D=F/\Delta h$ bestimmt. Dazu wird die Spitze der Rute mit einer Masse von 20 g belastet und gleich wie beim Biegeversuch die Auslenkung der Spitze gemessen.

Danach wird bei jeder Fliegenrute das Schwingungsverhalten untersucht. Beim Versuch "Rebound" wird jeweils ein Fischerblei mit einem Gewicht von 20 g an der Spitze in die geöffnete Büroklammer eingehängt. Nachdem sich die Rute eingependelt hat, wird die Rute an der Büroklammer festgehalten und das Blei entfernt. Dann wird die Büroklammer losgelassen, so dass die Rute nach oben schnell. Die anschließenden Schwingbewegungen werden nach und nach schwächer. Dieser Vorgang wird mit dem Handy aufgezeichnet. In dem Film auf dem Handy wird dann die Anzahl der Schwingungen gezählt und die Zeit abgelesen, die dabei verstreicht. Aus diesen Daten wird die Zeit für eine Schwingungsperiode T "Rebound" berechnet.

Der Versuch „Fallblei“ startet in Neutralposition, also ohne Gewicht. Die geöffnete Büroklammer wird festgehalten und ein 20 g Fischerblei in den Haken eingehängt. Dann wird die Büroklammer losgelassen. Die Rute schnell nach unten, die darauffolgenden Schwingbewegungen werden nach und nach schwächer.

Bei der Auswertung dieser Versuche wird die Zeit gemessen, die für x Schwingungen benötigt wird. Die gemessene Zeit wird durch die Anzahl der Schwingungen (x) geteilt. Mit einer Videoanalysesoftware, die die Zeit in 0.1 Sekunden angibt, konnten die Daten genau ausgewertet werden.

3.2.4. Resultate

Die Messwerte und die berechneten Federkonstanten sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Werte liegen nahe beieinander. Die längere Karbonrute "Aberdeen" hat die

höchste Federkonstante, die zweite Karbonrute hat mit der niedrigsten Federkonstante am wenigsten Federhärte. Die Werte der Bambusrute liegen dazwischen.

| Rutenmodell | Δh (Auslenkung in m) Belastung mit 0.02kg | Federkonstante D mg/ Δh |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Karbonrute 7 Fuss # 4-5 "Silstar" | 0.244 | 0.804 N/m |
| Karbonrute 8 Fuss # 5 "Aberdeen" | 0.215 | 0.913 N/m |
| Bambusrute 7 Fuss # 5 "Sir D" | 0.233 | 0.842 N/m |

Mit der oben ermittelten Federkonstante und den Zeiten der Schwingungsperiode wurde die schwingende Masse der Fliegenrutenspitze mit und ohne angehängtem Fallblei berechnet. Die Werte sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Es fällt auf, dass die berechnete schwingende Masse der Rutenspitze mit 2.8829g und 2.2085g bei den Karbonruten sehr tief ist. Die Bambusrute hat hier mit 3.5715g einen viel höheren Wert. Es fällt auch auf, dass die schwingende Masse mit den zusätzlichen 20g Fallblei vor allem für die Bambusrute etwas abweichende Werte ergibt.

| Rutenmodell | Schwingungsperiode | | schwingende Masse $m = \frac{T^2 D}{4\pi^2}$ | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| | T "Rebound" | T "Fallblei" | m "Rebound" | m "Fallblei" |
| Karbonrute 7 Fuss # 4-5 "Silstar" | 0.3763s | 1.0444s | 2.8829g | 22.2186g |
| Karbonrute 8 Fuss # 5 "Aberdeen" | 0.3091s | 0.9888s | 2.2085g | 22.6045g |
| Bambusrute 7 Fuss # 5 "Sir D" | 0.4092s | 1.0053s | 3.5715g | 22.8047g |

3.3. Bruchtest

3.3.1. Einleitung

Beim Bruchtest wird untersucht, bei welcher Maximalbelastung das verwendete Material irreversibel zerstört wird, um so die Stabilität der verwendeten Materialien zu testen.

Folgende Probestücke werden verwendet:

- Rutensegment einer Bambusrute, 15 cm lang, 0.5 cm dick (Dies entspricht einem Stück aus dem vorderen Handteil der hergestellten Rute.)
- Rutensegment einer Karbonrute, 15 cm lang, 0.6 cm dick (Die in den vorangehenden Tests verwendete Karbonrute Modell "Silstar" wurde für den Versuch zersägt.)
- Alurohr, 15 cm lang, 0.5 cm dick, Wandstärke 0.1 cm



Abbildung 24: Probestücke; oben Karbonrutensegment, Mitte Alurohr, unten Bambusrutensegment

3.3.2. Vorgehen

Die Versuchsreihe wird im Physiklabor der Kantonsschule Zug durchgeführt, ich wurde bei den Versuchen von Herrn Dieter Stender unterstützt.

Die drei Proben werden jeweils mit einer Schraubzwinde am Tisch fixiert und an der Spitze mit einem Newtonmeter belastet. Die maximale Belastung des digitalen Newtonmeters liegt bei 50 N. Damit wird der Bruchtest mit dem Alurohr und dem Bambusprobestück durchgeführt. Das Karbon- und Bambusprobestück werden danach mit dem analogen Newtonmeter belastet, welcher eine Maximalkraft von 500N anzeigt. Die Versuche werden mit einer Digitalkamera gefilmt.



Abbildung 25: Fixation des Probestücks und aufgebauter digitaler Newtonmeter.

3.3.3. Resultate

Als erstes Probestück wird das Alurohr eingespannt und mit einer Kraft von 22N, 38N, 39 N und mit 41 N belastet. Das Alurohr verhält sich bei der Belastung mit 22N, 38N und 39N elastisch: es biegt sich während der Belastung und federt nach der Belastung wieder zurück in die Ursprungsposition. Bei der Belastung mit 41N verbiegt es sich irreversibel.

Als nächstes Probestück wird das hexagonale Bambusrutensegment eingespannt und mit der maximalen Kraft von 50 N belastet. Es verhält sich auch elastisch und bleibt nach der Belastung intakt.

Es wird darauf verzichtet, auch das Karbonstück mit dem digitalen Newtonmeter zu belasten.

Die Probestücke werden nun mit dem stärkeren analogen Newtonmeter belastet.

Das Bambus-Probestück kann mit einer Kraft von 50 N belastet werden, bis es bricht. Die Bruchkante ist stark ausgefranst, einzelne Bambusfasern sind noch intakt.

Das Karbon-Probestück kann mit einer Kraft von 45 N belastet werden, bis es bricht. Die Bruchkante ist leicht unregelmässig, es bleiben keine Fasern intakt.

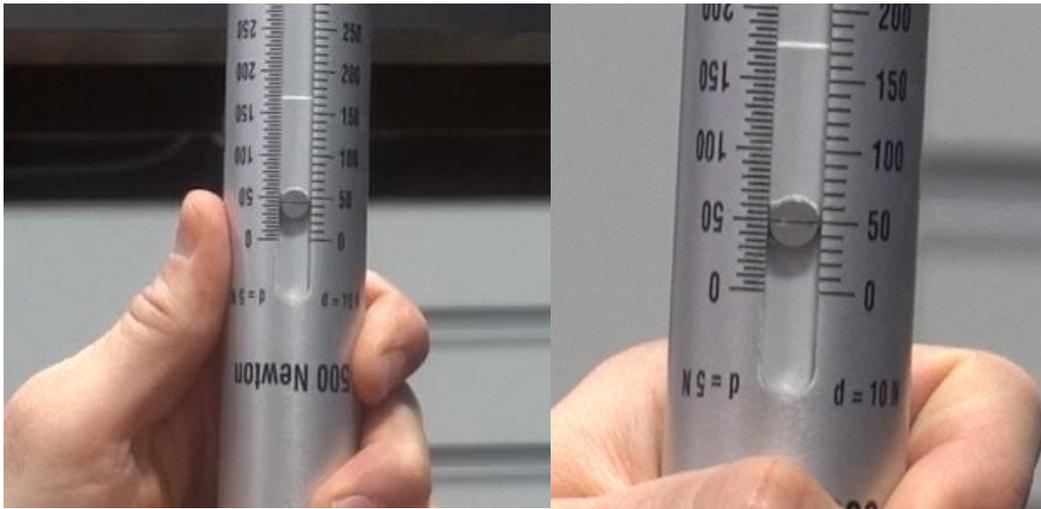


Abbildung 26: maximale Belastung Karbon; maximale Belastung Bambus

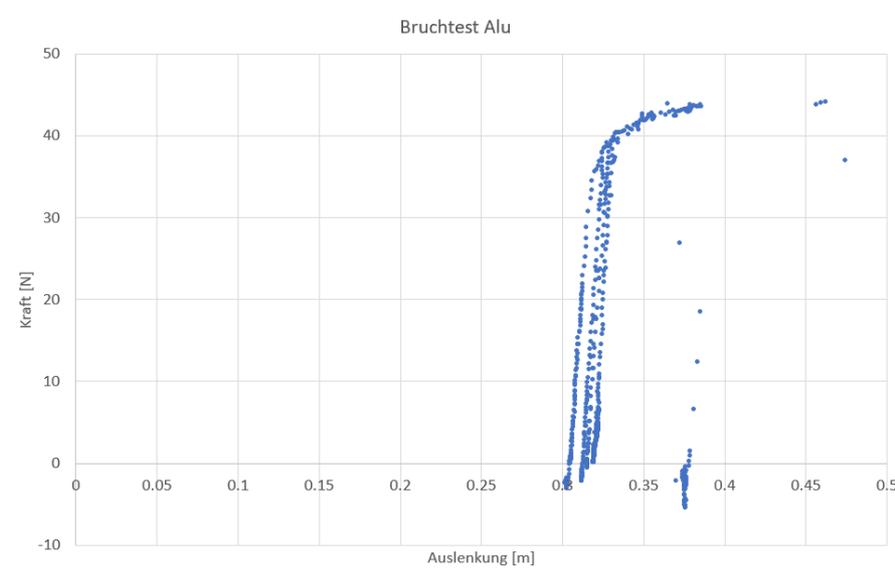


Abbildung 27: das Kraft-Auslenkung Diagramm des Bruchtests mit dem Alurohr.



Abbildung 28: Bruch des Bambusrutensegments



Abbildung 29: gebrochenes Bambusrutensegment



Abbildung 30: gebrochenes Karbonrutensegment



Abbildung 31: gebogenes Alurohr

3.4. Leitfähigkeit

3.4.1. Einleitung

Immer wieder werden Fischer oder Fischerinnen Opfer von einem Stromschlag, wenn sie mit der Rute eine Stromleitung berühren. Karbon ist für eine gute elektrische Leitfähigkeit bekannt. Daher interessiert mich, wie leitfähig eine Bambusrute ist und ob mit dieser Rute gefahrlos in der Nähe einer Stromleitung gefischt werden kann.

3.4.2. Vorgehen

Die Versuchsreihe wird im Physiklabor der Kantonsschule Zug durchgeführt, ich wurde dabei von Herrn Dieter Stender unterstützt.

An den Probestücken werden zwei Klemmaufsätze angesetzt, der Widerstand zwischen den zwei Klemmen wird mit einem Multimeter Strommessgerät gemessen.

Da das Probestück aus Karbon ein überraschendes Ergebnis aufzeigt, wird ebenfalls die innere Leitfähigkeit des Karbonrohrs gemessen. Um einen Vergleichswert für die Resultate zu erhalten, wird die Leitfähigkeit von deionisiertem Wasser gemessen. Deionisiertes Wasser leitet fast nicht, nur durch Verunreinigungen und die Autoprotolyse.

3.4.3. Resultate

3.4.3.1. Bambus

Bei diesem Versuch kann kein Stromfluss nachgewiesen werden. Es ist also ein extrem hoher elektrischer Widerstand gegeben.

3.4.3.2. Karbon

Klammern von aussen:

Bei diesem Versuch wird ein sehr hoher Widerstand gemessen.

Zum Vergleich wird die Klammern in einen mit deionisiertem Wasser gefüllten Messbecher getaucht. Der gemessene Widerstand ist tiefer als bei dem Versuch mit Karbon. Ich gehe davon aus, dass diese Rute mit einem Isolationslack behandelt wurde.

Klammern von innen:

Um die Theorie des Isolationslacks zu bestätigen, werden die Klammern am Anfang und am Ende des Rohrs befestigt, indem ein Schenkel der Klammer in die Innenseite des Rohrs eingeführt wird und der andere Schenkel an der Aussenseite klammert. Obwohl die Resultate leicht variierten, kann so eine massiv höhere Leitfähigkeit nachgewiesen werden.

3.5. Gewicht

Die selbst hergestellte Fliegenrute aus Bambus und die Fliegenrute vergleichbarer Länge aus Karbonfasern werden auf einer elektronischen Küchenwaage gewogen.

Die Bambusrute ist mit 109g deutlich schwerer als die gleich lange Karbonrute, welche nur 93g auf die Waage bringt.

4. Praxistest der fertigen Fliegenrute

Mich nahm wunder, wie sich die selbstgebaute Bambusrute in der Praxis verhält und ob sie den Qualitätsansprüchen eines Experten entspricht.

Um eine neutrale Bewertung der selbstgebauten Rute zu erhalten, wurde sie einem erfahrenen Fischer zur Beurteilung und Probewerfen übergeben. Herr Willy Hübscher hat die Rute am 23.12.2022 im Feldversuch auf ihre Praxistauglichkeit getestet und danach im Interview sein Urteil abgegeben.



Abbildung 32: Herr Willy Hübscher bei Testwerfen mit der "Sir D"

4.1. Interview mit Herrn Willy Hübscher

4.1.1. Allgemeine Fragen

1. *Wie lange fischen Sie schon mit Fliegenruten?*

Ich fische schon seit ungefähr 50 Jahren.

2. *Mit welcher Art von Rute fischen Sie? (Material, Schnurklasse)*

Ich fische meistens mit einer Karbonfliegenrute der Klasse 6, sie ist ca. 280 cm lang.

3. *An welchen Orten fischen Sie? (Flüsse (gross, klein oder Bergbach) oder Seen)*

Meistens fische ich an der Sihl.

4. *Wie oft fischen Sie?*

Etwa 2 - 3 mal pro Monat.

5. *Was sind für Sie die Qualitäten einer guten Fischerrute / Fliegenrute?*

Eine gute Aktion, um einen Rollwurf durchzuführen, sie sollte schön verarbeitet sein, der Hülsenübergang sollte präzise verarbeitet sein und die Rute sollte auf eine praktische Transportgrösse zusammengelegt werden können.

6. *Welchen Preis sind Sie bereit für eine gute Rute zu bezahlen?*

Eine gute Rute kostet mindestens 1'000.-, dies bin ich auch bereit zu zahlen.

7. *Würden Sie sich als erfahrenen Fischer bezeichnen?*

Ja, ich fische schon länger und kenne alle gängigen Fischfangmethoden.

8. *Wo kaufen Sie ihre Ruten?*

Ich kaufe sie im Fischereifachgeschäft, nicht im Internet.

4.1.2. Fragen zu meiner Bambusrute

9. *Wie liegt die Rute in der Hand? (Balance, Gewicht)*

Die Rute liegt mir gut in der Hand, der Schwerpunkt ist ausgewogen. Ich finde sie angenehm leicht.

10. *Wie bewerten Sie das Wurfverhalten, die Präzision, die Reichweite und die Geschwindigkeit/Beschleunigung?*

Das Wurfverhalten ist vergleichbar mit dem einer Karbonrute, mit der Rute konnte ich sogar auf einer kurzen Distanz einen Rollwurf durchführen. Ich konnte damit präzise werfen. Die Reichweite liegt etwa bei 8 Metern, dies ist für mich ausreichend. Die Schnur lässt sich gut beschleunigen.

11. Würden Sie mit dieser Rute in ihrem Bach fischen?

Ja, ich könnte es mir gut vorstellen.

12. Falls diese Rute zum Verkauf angeboten würde, würden Sie diese kaufen?

Ja, ich würde es in Erwägung ziehen.

13. Nach den von Ihnen vorher genannten Kriterien zu guten Fischerruten, wie würden Sie diese Rute bewerten?

Die Rute erfüllt alle meine Kriterien und sie gefällt mir. Meine einzige Kritik an der Rute ist die Rollenhalterung. Ich würde einen Schraubrollenhalter bevorzugen, da mir dieses Befestigungssystem sicherer scheint.

5. Schlussfolgerung

5.1. Erfahrungen aus dem Bauprozess

Das Herstellen einer Fliegenrute aus Bambus tönt eigentlich ganz einfach. Das notwendige Werkzeug kann bis auf die Hobelform im Baumarkt gekauft werden und das Herstellen von total 12 Bambusstreifen mit einem Querschnitt eines gleichseitigen Dreieckes sollte nicht so kompliziert sein. Es hat sich dann aber doch herausgestellt, dass das Bauen der Rute etwas schwieriger ist und vor allem viel Zeit braucht. Das Zurechtbiegen der Spleisse über der Heissluftpistole ist eine sehr zeitintensive Arbeit und das Hobeln von Bambus braucht etwas Übung. Das Material ist sehr hart und die Spleisse sind an der Spitze sehr dünn. Die Kanten sind sehr scharf und man muss sehr vorsichtig damit umgehen, damit man sich daran nicht in die Finger schneidet oder die Spleisse beschädigt. Das Hobeln der Bambusspleisse braucht viel Zeit und Geduld. Auch wenn es mit etwas Übung schneller vorwärts geht, dauert der Bau einer Fliegenrute mehrere Tage. Es ist also unwahrscheinlich, dass sich die manuelle Herstellung von Fliegenruten lohnt. Für eine rentable industrielle Herstellung müsste das Bauverfahren vereinfacht werden oder durch eine Maschine erfolgen.

5.2. Interpretation der Testresultate

5.2.1. Biegetest

Zum Vergleich der Bambusruten untereinander:

Das wichtigste Resultat ist, dass die drei bauchgleichen Bambusruten eine praktisch identische Biegekurve zeigen. Es ist erstaunlich, dass die drei Kurven so nahe beieinanderliegen, obwohl die Ruten alle von Hand und von zwei verschiedenen «Rutenbauern» hergestellt wurden. Das Herstellungsverfahren scheint also ein recht reproduzierbares Resultat zu ermöglichen. Interessant ist auch, dass die Ruten scheinbar mit dem Alter und dem Gebrauch nicht oder nur minimal weicher werden. Das könnte eine mögliche Erklärung sein, dass die Rute von 2012 eine etwas andere Kurve aufweist. Diese Rute war die erste Rute, die bei uns gebaut wurde. Sie wurde auch am meisten gebraucht, während die Rute von 2022 neuwertig ist und die Rute von 2014 sehr wenig gefischt wurde.

Zum Vergleich Bambus versus Karbon:

Bei diesem Versuch zeigen die Resultate der Biegekurve einen deutlicheren Unterschied. Obwohl es sich um 3 ähnlich lange Ruten mit der gleichen Schnurklasse handelt, sind die Biegekurven nicht identisch. Das Überraschende an diesem Resultat ist, dass sich die

Karbonruten bei gleichem Gewicht mehr durchbiegen als die Bambusrute. Es wurde erwartet, dass die Bambusrute etwas weicher wäre.

Auffällig ist auch, dass die Biegekurven der beiden Karbonruten eine gleichmässige Zunahme der Biegung zeigen, während sich die Bambusrute mit zunehmendem Gewicht immer weniger biegt, die Kurve also flacher wird. Das heisst, die Federkonstante nimmt bei den Karbonruten konstant zu, bei den Bambusruten nimmt die Federkonstante eher exponentiell zu. Das könnte auf die Materialeigenschaften oder aber auf die Form zurückgeführt werden. Die Bambusrutenbauer legen sehr starken Wert darauf, wie sich das Taper auf die Aktion oder das Biegeverhalten auswirkt. Möglicherweise verjüngen sich die Karbonruten gleichmässiger, während «unser» Modell der Bambusrute (Sir D) ein spezielles Taper mit einem etwas stärkeren Handteil aufweist.

5.2.3. Schwingungstest

Die Resultate des Schwingungstests sind sehr interessant. Die Federkonstanten der drei Ruten liegen sehr nahe beieinander. Die etwas höhere Federkonstante der Karbonrute "Aberdeen" könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Rute einen Fuss länger ist und deshalb vielleicht auch etwas steifer sein muss. Die niedrigste Federkonstante hat die zweite Karbonrute "Silstar". Dieses Resultat könnte damit erklärt werden, dass die Rute auch für eine etwas niedrigere Schnurklasse gebaut ist.

Beim Rebound-Test zeigt sich, dass die Bambusrute eine deutlich höhere schwingende Masse hat. Das könnte daran liegen, dass die Rute nicht hohl wie eine Karbonruten ist, sondern solide ohne Loch in der Mitte. Das Resultat aus dem Rebound Test könnte eine Erklärung dafür sein, dass sich Bambusruten beim Werfen eher etwas langsam und träge anfühlen, was als langsame Aktion beschrieben wird.

Auffällig ist auch, dass die berechnete schwingende Masse mit den angehängten 20g Bleigewicht etwas von den Resultaten aus dem Rebound-Versuch abweicht. Das könnte dadurch erklärt werden, dass sich die Federkonstante der Ruten mit angehängtem Bleibewicht verändert. Ein grösserer Abschnitt der Rute schwingt und die Kurven aus dem Biegetest zeigen ja, dass die Federkonstanten mit mehr angehängtem Gewicht höhere Werte haben.

5.2.4. Bruchtest

Die Resultate aus dem Bruchtest sind sehr erstaunlich. Es wurde nicht erwartet, dass das Stück der Bambusrute stabiler ist als ein vergleichbares Stück der Karbonrute.

Es könnte aber auch sein, dass das Resultat bei einem anderen Versuchsaufbau etwas anders ausgefallen wäre. Auf den Bildern ist zu sehen, dass das Probestück genau an der

Tischkante bricht. Da das Karbonstück hohl ist kann es sein, dass die Belastung an einem Punkt durch die Tischkante die dünne Karbonwand beschädigt. Das Bambusstück ist solide ohne Loch in der Mitte und dadurch vielleicht etwas stabiler. Das gleiche gilt auch für die Fixation des Probestücks, vielleicht wurde das Karbonrohr durch die Fixation mit der Schraubzwinge etwas zusammengequetscht und dadurch geschädigt.

Interessant ist auch, dass die Karbon- und Bambusstücke elastisch sind und dann brechen, während das Alurohr nicht zerbricht, nach einer hohen Belastung aber gebogen bleibt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Bambus als Baustoff sehr stabil ist und sogar dem Vergleich mit anderen modernen Werkstoffen wie Karbon oder Aluminium standhält.

5.2.5. Leitfähigkeit

Unter den Bedingungen, in denen wir die Leitfähigkeit getestet haben, leitet die Karbonrute fast nicht. Dies ist auf die Versiegelung oder den Lack, der auf der Oberfläche ist, zurückzuführen. Wird der Versuch so angepasst, dass die Klemme am Rutenmaterial selbst ansetzt, ist die Leitfähigkeit viel höher und der Widerstand folglich viel tiefer. Ob die Lackschicht auch bei höheren Spannungen, wie sie bei Gewitter oder bei einer Stromleitung auftreten, ausreichend isoliert, müsste mit entsprechenden Spannungen getestet werden. Jedenfalls sind Karbonruten in der Regel mit Warnklebern versehen, die Rute nicht in der Nähe von Stromleitungen oder bei Gewittern zu verwenden. Beim Bambus wurde allerdings keine Leitfähigkeit nachgewiesen, folglich braucht meine Rute also keinen Warnkleber.

5.2.6. Gewicht

Wie erwartet zeigte das Wiegen der Fliegenrute, dass die Rute aus Bambus mit 109g etwa 17% schwerer ist als ein vergleichbares Modell aus Karbonfasern. Ob dieses Resultat für die Praxis relevant ist, kann nicht sicher gesagt werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Gewichtsunterschied von 16g auf die Ermüdung beim Werfen keinen grossen Einfluss hat. Wichtig ist wahrscheinlich auch, dass die Fliegenrute gut ausbalanciert ist. Im Praxistest wurde das Gewicht der Rute auf jeden Fall nicht als Negativpunkt aufgezählt.

5.3. Überlegungen zur Nachhaltigkeit

Den Aspekt der Nachhaltigkeit habe ich in meiner Arbeit nur gestreift, finde ihn aber trotzdem sehr wichtig. Beim Auswahlverfahren für den Kauf eines neuen Produktes sollte die Nachhaltigkeit stark gewichtet werden. Die Analyse meiner Testresultate ergibt, dass die beiden Werkstoffe Karbon und Bambus ideale Materialeigenschaften für den Rutenbau

aufweisen. Aus der Sicht der Nachhaltigkeit scheint mir aber der Bambus wegen seines natürlichen Vorkommens gegenüber Karbon klar im Vorteil zu sein.

5.4. Persönliches Fazit

Am Ende meines Projektes «Fliegenrute bauen und Testen» kann ich ein positives Fazit ziehen. Ich habe sehr viel interessantes über Bambus gelernt, es ist faszinierend, wie die Natur ihre Werkstoffe optimiert hat. Ich konnte mir auch einige handwerklichen Fähigkeiten aneignen. Es ist mir gelungen, aus einem nicht alltäglichen Baumaterial ein Produkt herzustellen, welches seinen Zweck erfüllt und sogar von einem erfahrenen Fliegenfischer als gut befunden wurde.

Die Herstellung der Rute war allerdings schwieriger als gedacht und ich habe den Aufwand und die vielen Arbeitsschritte etwas unterschätzt. Dafür habe ich nun ein Fliegenrute, die mir sehr gut gefällt und die es so nicht zu kaufen gibt.

Die Fragen, die ich mir zu Beginn gestellt habe, nämlich ob es Alternativen zu dem Baumaterial Karbonfaser gibt und ob sich die Eigenschaften von der fertigen Rute stark unterscheiden, konnte ich beantworten. Ja, es gibt Alternativen zu Karbonfasern und die sind gar nicht so schlecht. Die Resultate der verschiedenen Tests haben mich erstaunt. Ich hatte erwartet, dass Bambus als Baumaterial deutlich schlechter abschneidet als Karbonfasern. So wie es in meinen Versuchen aussieht, ist der natürliche Faserverbundwerkstoff Bambus der Kohlenfaser aber recht ähnlich und hat durchaus vergleichbare Eigenschaften. Ob diese Resultate auch auf andere Anwendungen übertragen werden können, ist eine weitere Frage. Sicher ist, dass Bambus, so wie er hier verwendet wurde, sehr aufwendig zum Verarbeiten ist und sich so wohl kaum für eine industrielle Verarbeitung eignet. Dafür ist es ein natürlicher Rohstoff der rasch nachwächst und einfacher recycelt werden kann. Vielleicht habe ich mit meiner Arbeit einen kleinen Beitrag dazu geleistet, dass natürliche Werkstoffe besser akzeptiert werden und auch für andere Anwendungen ausprobiert werden. Bei der Literatursuche habe ich auf jeden Fall herausgefunden, dass Bambus im Trend liegt und bereits viele Anwendungen findet. Vereinzelt gibt es sogar Fahrräder und Ski aus Bambus. Denkbar wären auch Snowboards und andere Sportgeräte.

6. Quellenangaben

1. Bericht Luzerner Zeitung, vom 24.1.2023, «In seinen Ski mit Bambustechnologie steckt Energie – und sie sind fast vollständig wiederverwertbar.», Skibauer René Unternährer
2. Dr. Bernd Wohlmann, AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. - Auszug aus „Handbuch Faserverbundkunststoffe – Grundlagen, Verarbeitung, Anwendungen“
3. US Patent Nr. US251540A von THOMAS A. EDISON, OF MENLO PARK, NEW JERSEY, ASSIGNOR TO T11E
4. Dr. Elmar Witten, Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe, 2009
5. Christoph Tögens, Mechanische Eigenschaften von Bambus, Referat 2001, RWTH Aachen, University
6. <https://blog.hslu.ch> > Student-research-task-bamboo: Bambus als Baustoff-Material, Steffanie Hug; 2017 (31.1.23)
7. Wayne Cattnach “Handcrafting Bamboo Fly Rods”, ISBN 978-1-59228-837-3, 2005
8. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bambus> (31.1.23)
9. Peter Carsten: «Bambus wächst ebenso rasant wie der Markt für Bambusprodukte. Aber sind die wirklich nachhaltiger als Holz?» <https://www.geo.de/natur/nachhaltigkeit/21318-rtkl-nachwachsender-rohstoff-bambus-boomt-aber-wie-gruen-ist-der> (31.1.23)

7. Danksagung

Bei meiner Maturaarbeit wurde ich von vielen Personen wohlwollend unterstützt. Allen gebührt mein aufrichtiger Dank.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dieter Stender, Physiklehrer KSZ. Er hat mich bei den Labortests beraten sowie unterstützt und hat mit mir die Labordaten analysiert. Herr Hübscher hat sich Zeit genommen, meine selbstgebaute Rute im Feldversuch zu testen und mit seinem Praxiswissen zu beurteilen. Mein Vater hat mir Tipps und Tricks gegeben beim Rutenbau. Meine Mutter hat meine Texte kritisch gegengelesen.

8. Zusätzlich eingereichtes Material

- selbst gebaute Bambusfliegenrute
- Buch Wayne Cattanach
- Laborjournal und Notizbuch