

Effizienzen einfacher Bogenschüsse und Herstellungsprozess der verwendeten Bögen

Seminarfacharbeit

Ernst-Abbe-Gymnasium

Jena

Verfasser: Lennart Kloß 11/3
Bart Drefahl 11/1
Paul Dienst 11/1

Betreuer: Seminarfachlehrer: Frau Heidler
Fachbetreuer: Herr Ring
Außenbetreuer: Herr Lind

Abgabetermin: 14.10.2022

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Der Bogen als Sportgerät.....	3
2.1. Vorteile des Bogenschießens.....	3
2.2. Kritische Betrachtung des Bogenschießens.....	4
3. Physikalische Grundlagen eines Bogenschusses.....	5
4. Die Entstehung und Geschichte der Bögen.....	6
4.1. Der Langbogen.....	6
4.2. Der Recurvebogen.....	7
4.3. Der Reiterbogen.....	8
5. Vorbetrachtung.....	8
5.1. Bogenformen.....	8
5.2. Sehnenarten.....	9
5.3. Pfeile.....	9
6. Der Bogenbau.....	10
6.1. Bau Langbogen.....	10
6.2. Umbau Langbogen zu Recurvebogen.....	11
6.3. Umbau Recurvebogen zu Reiterbogen.....	12
7. Auswertung.....	13
7.1. Die unterschiedlichen Bogenformen.....	13
7.2. Die unterschiedlichen Pfeile.....	16
7.3. Die unterschiedlichen Sehnen.....	18
7.4. Zusammenführung der Ergebnisse.....	20
8. Fazit und Ausblick.....	23
9. Danksagung.....	24
10. Eidesstattliche Erklärung.....	24
11. Anhang & Quellen.....	25
11.1. Abbildungen.....	25
11.2. Messwerttabellen.....	30
11.3. Quellen.....	42

1. Einleitung

Der Bogen ist eines der ältesten Werkzeuge der Menschheitsgeschichte, dafür reichen Funde und Belege bis in die Steinzeit zurück. Damals wurde er überwiegend als Waffe zur Jagd eingesetzt, heutzutage findet der Bogen allerdings fast ausschließlich im Bereich des Sportes seine Verwendung. Dabei wirkt sich die Art des Bogens maßgeblich auf die Effizienz des Bogens aus, welche bei beiden Verwendungsmöglichkeiten eine Maximierung ihrer selbst vorsieht. Das Ziel unserer Seminarfacharbeit soll es demnach sein, die Effizienzsteigerung von Bögen über die Zeit zu betrachten und dem Bogen in unserer modernen Gesellschaft als unterrepräsentiertes Sportgerät mehr Bedeutung zu verleihen. Das werden wir erreichen, indem wir einen eigenen Bogen bauen und diesen mithilfe von Modifikationen in drei unterschiedliche Bogentypen umwandeln. Mit unseren selbstgebauten Bögen werden wir die Pfeilgeschwindigkeiten untersuchen, die durch das Zusammenwirken von unterschiedlichen Bogenformen, Bogensehnen und Pfeilen entstanden sind. Wir werden in der Auswertung die Bögen auf eine Veränderung der Effizienz untersuchen, wodurch wir die praktisch-physikalischen Zusammenhänge offen legen. Aus unseren Erkenntnissen werden wir einen Leitfaden für Bogenbauanfänger entwickeln, der die Frage „Wie baue ich einen möglichst effizienten Bogen?“ beantworten soll. Diese Anleitung werden wir in Form eines Forumsbeitrags veröffentlichen.

2. Der Bogen als Sportgerät

2.1. Vorteile des Bogenschießens

Die ältesten, jemals gefundenen Überreste eines Bogens werden auf 64.000 Jahre vor unserer Zeit datiert. Daraus erschließt sich die lange Tradition des Bogenschießens, mit einem Bogen ohne technischem Zubehör. Diese Tradition wird in vielen asiatischen Ländern, wie Japan, auch heute noch ausgeführt. In Japan nennt sich die spezielle Form des Bogenschießens „Yabusame“. Beim „Yabusame“ sitzt der Bogenschütze auf dem Rücken eines Pferdes, welches mit hoher Geschwindigkeit eine Strecke von maximal 400 Metern ab reitet. Das Ziel des Schützen dabei ist, die in kurzen Abständen aufgestellten Ziele zu treffen. Um den rübenartigen Pfeil im Galopp des Pferdes gezielt vom Langbogen abzufeuern, ist hohe Konzentration und ein langjähriges Training erforderlich. Diese Tradition begann im 10. Jahrhundert und wird heutzutage nur noch in Kamakura, einer Stadt im Südosten Japans, ausgeführt. Vor knapp 1000 Jahren wurde diese Technik trainiert, um seine militärischen Gegner effektiv zu eliminieren, in der heutigen Zeit ist das „Yabusame“ ein unterhaltsamer Anlass für Sport- und vor allem Bogen begeisterte.¹

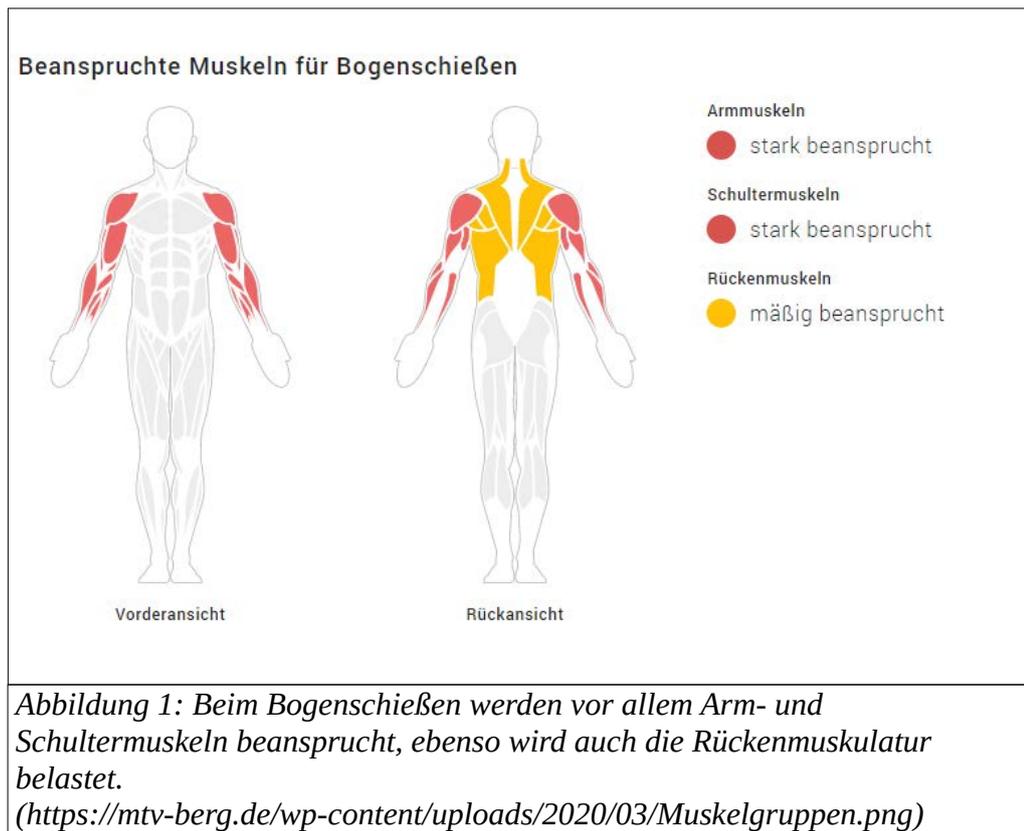
Da der Bogen letztendlich auf ein bearbeitetes Stück Holz mit einer Schnur am Ende reduziert werden kann, ist Bogenschießen als Hobby für jedermann geeignet. Mit einfachsten Mitteln, wie Gurkengläsern und einem Föhn, kann ein Stück Rattan von Hand so bearbeitet werden, das es eine bogenähnliche Form annimmt, ohne das übermäßige Kosten oder zu viel Arbeit entstehen.

Egal ob selbstgebaut oder gekauft, die gesundheitlichen Aspekte des Bogenschießens werden oft vernachlässigt. Durch das bewusste Atmen und die sich wiederholende Routine des Schießablaufes fördert der Bogensport die Konzentration und gleichzeitig die Entspannung des Schützen. Diese beiden Vorteile werden auch bei der Behandlung von Burnout-Patienten oder Menschen mit Angststörungen genutzt.²

1) <https://japan-kyoto.de/yabusame-bogenschießen-vom-pferd-aus-am-shimogamo-schrein-03-05/>

2) shorturl.at/ajnsu

<https://www.bogensport.de/warum-das-bogenschiessen-so-gesund-ist/>



Ein weiterer Pluspunkt, des Bogenschießens als Hobby, ist das man durch die richtige Technik sehr viele Muskeln und Muskelgruppen trainiert, wie auch in Abbildung 1 zu sehen ist. Durch dieses Training wird vor allem die Rückenmuskulatur gestärkt, was zu einer besseren aufrechten und lockereren Körperhaltung führt. Außerdem hilft es gegen Verspannungen, fördert die Hand-Augen-Koordination und findet meistens im Freiem statt. Somit ist es der perfekte Ausgleich für einen stressigen Bürojob.³

2.2. Kritische Betrachtung des Bogenschießens

Ein Nachteil des Bogenschießens ist in der Sicherheit zu finden. Wenn der Schütze unachtsam ist, kann es schnell zu Verletzungen kommen. Des Weiteren kann ein Bogen auch als Waffe genutzt werden. Ein aktuelles Beispiel ist der Fall eines Amokläufers, der am 13.10.2021, bewaffnet mit Pfeil und Bogen in Norwegen fünf Menschen tötete.⁴

3) <https://youksakka.de/7-gute-gruende-warum-man-bogenschiessen-sollte/>

Vgl. Mehlhaff, Bert: Richtig schießen mit dem Recurvebogen, BoD, 2019, S.6.

4) <https://www.n-tv.de/panorama/Tote-und-Verletzte-bei-Amoklauf-in-Norwegen-article22864169.html>

3. Physikalische Grundlagen eines Bogenschusses

Bei einem Bogenschuss findet eine Energieübertragung zwischen einem Pfeil, mit der Masse m , und einer Sehne statt. Durch diese Energieübertragung wird der Pfeil beschleunigt. Bei einem Bogenschuss kann man mit einem Chronometer die Abschussgeschwindigkeit eines Pfeiles messen. Das Chronometer besteht aus zwei Lichtschranken, durch die der Pfeil geschossen werden muss. Diese messen die Zeit, die der Pfeil für die zurückgelegte Strecke braucht. Daraus lässt sich die folgende Formel für die Abschussgeschwindigkeit ableiten.

$$v_0 = \frac{s}{t}$$

Um die kinetische Energie⁵ ermitteln zu können wird mit einer Waage die Masse des Pfeiles bestimmt. Im Anschluss setzt man die Abschussgeschwindigkeit und die Masse in die Formel

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

ein. Die Spannenergie des Bogens wird mit der Formel

$$E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Bogen}} \cdot g \cdot s$$

berechnet, wobei m die Masse des Bogens ist, g der Ortsfaktor der Erde und s die Auszugslänge. Die Auszugslänge wird von der Sehne bis zum Pivot-Point⁶ gemessen.⁷

Das Zuggewicht gibt an, welche Kraft benötigt wird um einen Bogen vollständig ausziehen.

Je größer dieser Auszug ist, umso mehr Kraft wird benötigt um die Sehne zu halten. Vollständig bedeutet dabei, dass der Auszug des Bogens bei der beabsichtigten Auszugslänge des Bogenschützen aufhört. Das Auszugsgewicht wird normalerweise in Pfund mit der Einheit lb angegeben. Compoundbögen haben durchschnittlich ein Zuggewicht von 50 Pfund. Das entspricht ungefähr der Kraft, die man brauchen würde um 23 kg hochzuhalten.⁸

5) vgl. Paus, Hans J.: Physik in Experimenten und Beispielen, Würzburg: Carl Hanser Verlag, 1995, S.43.

6) Der Pivot-Point ist der tiefste Punkt im Griff

<https://www.bogenladen-collenberg.de/auszugslaenge-bestimmen/>

7) <https://pfeil-und-bogen-kaufen.de/auszug-rechner-auszug-berechnen/>

8) shorturl.at/txy13

Durch die Vereinigung der Amerikanischen Hersteller und Händler wurde als einheitlicher Standard ein Auszug von 28 Zoll festgelegt, bei dem dann das Zuggewicht mit einer Zuggewichtswaage ermittelt wird. Um die unterschiedlichen Bogenarten vergleichen zu können, werden wir bei unseren Bögen ein gleiches Zuggewicht, bei gleichem Auszug nehmen.

Die Effizienz eines Bogens wird durch den Wirkungsgrad definiert. Dieser beschreibt den Energie Verlust, bei der Übertragung von der Spannenergie und der Energie die auf den Pfeil wirkt. Er kann mit

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{E_{kin}}{E_{spann}}$$

berechnet werden, je mehr der berechnete Wert gegen 1 geht umso effizienter ist der Bogen. In unserem Fall ist zu erwarten, dass der Langbogen den niedrigsten Wirkungsgrad hat, der Reiterbogen den besten und der Recurvebogen zwischen beiden liegen wird. Der Carbonpfeil wird bei den unterschiedlichen Pfeilgewichten den besten Wirkungsgrad haben, der Holzpfeil den schlechtesten und der Aluminiumpfeil dazwischen liegen.

4. Die Entstehung und Geschichte der Bögen

4.1. Der Langbogen

Die ersten Funde von Langbögen reichen bis in die Mittelsteinzeit von vor 10.000 Jahre zurück. Diese bestanden nur aus einem Stock mit einer Faser als Sehne. Aus diesen primitiven Langbogen entwickelte sich über Jahrtausende der Englische Langbogen. Der älteste Langbogen, der auf englischen Gebiet gefunden wurde, wird auf 2690 vor Christus datiert. Ein Englischer Langbogen besteht aus Eibenholz, hat eine Länge von über 1,80 Metern und einen D-Querschnitt. Durch die hohe Länge und den D-Querschnitt ist ein hohes Zuggewicht und gute Präzision bei diesem Bogen möglich. Allerdings ist die Herstellungsdauer, durch den D-Querschnitt, stark erhöht. Der Langbogen wurde im Mittelalter von speziell ausgebildeten Einheiten verwendet. Diese konnten mit

dem Langbogen bis zu zehn Pfeile pro Minute schießen und hatten eine Reichweite von bis zu 350 Metern. Meist standen die Bogenschützen geordnet in mehreren Reihen und ließen Pfeilsalven auf ihre Gegner niederregnen. Langbögen wurden zum Beispiel bei der Schlacht von Crecy 1346 oder bei der Schlacht von Azincourt 1415 als kriegsentscheidendes Mittel verwendet. Die dort verwendeten Langbögen und deren Pfeile erreichten eine hohe Zugkraft, von mehr als 120 Englischen Pfund, mit der man 10 cm dicke Eichenbretter mühelos durchbohren kann. ⁹

4.2. Der Recurvebogen

Recurvebögen oder Reflexbögen (Reflex= lat. für zurückgebogen) unterscheiden sich im Wesentlichen durch ihre zurückgebogenen Wurfarme von anderen Bögen wie z.B. vom klassischen Langbogen. Durch die gebogenen Wurfarme liegt die Sehne direkt am Wurfarm an, wodurch sowohl die Schwingung der Sehne als auch die Stärke des sogenannten Handschocks gedämpft werden. Der Handschock ist die Energie, welche in die Hand der schießenden Person übergeht. Es wird auch eine höhere Vorspannung in den Wurfarmen erreicht, was zu einem erhöhten Wirkungsgrad im Vergleich zu Langbögen führt, wie durch unsere Messreihen sichtbar wird.

In der Geschichte der Menschheit spielt der Bogen eine wichtige Rolle, mit ihm wurde die Jagd revolutioniert. Die frühesten Funde von Pfeilspitzen lassen sich auf etwa 64 000 Jahre vor unserer Zeit also 62 000 Jahre v. Chr. datieren. Die Funde stammen aus Westafrika und sind somit die ersten Belege für die Verwendung von Bögen. Weitere Belege für die Verwendung von Recurvebögen lassen sich auf Felsmalereien in den spanischen Levanten finden, welche auf das 6. Jahrtausend v. Chr. datiert werden. Das älteste Fundstück eines Recurvebogens stammt auf Theben im heutigen Ägypten und stammt aus dem 12. Jahrhundert v. Chr.. Auch bei der Belagerungen von Wien im 16. bzw. 17. Jahrhundert durch das Osmanische Reich kamen Recurvebögen zum Einsatz. Diese wurden hauptsächlich von den osmanischen Truppen genutzt, jedoch waren die osmanischen Bögen (vor allem der verwendete Leim) nicht auf die veränderten klimati-

9) <https://youksakka.de/der-bogen-und-seine-geschichte/>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Langbogen>
<https://www.bogenbau-freiamt.info/bogenarten-1>
<https://libellius.de/artikel/englische-langbogen-6455.html>

schen Bedingungen angepasst und zerfielen nach kurzer Zeit in ihre Einzelteile. Doch Recurvebögen wurden nicht nur in längst vergangenen Zeiten benutzt. Heute sind sie die einzig zugelassene Bogenform für das olympische Bogenschießen¹⁰

4.3. Der Reiterbogen

Die ersten Funde von Reiterbögen wurden auf das Jahr 2200 v. Chr. zurückdatiert, was ihn im Vergleich zum Lang- und Recurvebogen zum jüngsten Bogentyp der drei Bögen macht. Dieser Fund stammt aus der Nähe des Baikalsees in Sibirien, dem Entstehungsort des Reiterbogens. Die am Baikalsee ansässigen Völker, wie Hunnen oder Mongolen, sind für die Nutzung dieser Bögen bekannt und waren durchaus gefürchtet, da die gebogenen Tips und Fadeouts für eine effektivere Energieübertragung an den Pfeil sorgten und somit die Geschwindigkeit und Durchschlagskraft der Pfeile steigerten. Aber nicht nur die berittenen Völker Asiens, auch die Ureinwohner Amerikas und diverse osteuropäische und nordafrikanische Völker sind für ihre Varianten des Reiterbogens bekannt. Wie sein Name schon sagt, wurde er meist von berittenen Einheiten verwendet. Dabei erforderte es jahrelanges Training, den Pfeil im Moment kompletter physikalischer Ruhe abzuschießen. Dieser Moment tritt nur ein, wenn sich alle vier Hufe des Pferdes des Schützen in der Luft befinden. Heutzutage erfreut sich der Reiterbogen als Teil des Hobbyschießens großer Bedeutung, größtenteils in seinem Ursprungsgebiet um den Baikalsee.¹¹

5. Vorbetrachtung

5.1. Bogenformen

Wir vermuten, dass der Reiterbogen am effizientesten ist, da er sowohl die Krümmung der Wurfarms als auch die umgebogenen Tips besitzt, und mit diesen baulichen Eigen-

10) <https://www.dsb.de/bogensport/disziplinen/recurvebogen>
<https://www.bogen.at/wissenswertes/geschichte-von-pfeil-und-bogen/shorturl.at/gqrwW>

11) <https://nextlevelarchery.de/reiterbogen-kaufen/#:~:text=Herkunft%20und%20Geschichte,Ungarn%20nutzen%20Varianten%20des%20Reiterbogen.>

schaften die Energie am besten übertragen kann. Da beim Recurvebogen die Krümmung der Wurfarme fehlt, wird er nicht so effizient sein wie der Reiterbogen, allerdings effizienter als der Langbogen, da immer noch die umgebogenen Tips vorhanden sind. Der Langbogen wird der ineffizienteste der drei Bogenformen sein, da er außer dem D-Querschnitt keine baulichen Besonderheiten aufzuweisen hat. Wir erwarten außerdem einen gleichen Abstand zwischen den Wirkungsgraden der einzelnen Bogenformen.

5.2. Sehnenarten

Wir nehmen an, dass die 10-Strang Sehne die effizienteste der vier Sehnen ist, da durch die niedrigere Anzahl von Strängen weniger Energie verloren geht. Diesem Prinzip folgend ist die 12-Strang Sehne die zweit effizienteste Sehne, die 16-Strang Sehne die dritt effizienteste Sehne und die 12-Strang gespleißte Sehne die ineffizienteste Sehne.

5.3. Pfeile

Da sich die Länge und die Befiederung der Pfeile untereinander fast nicht unterscheiden, liegt der Hauptaugenmerk unserer Vermutung auf dem Gewicht der Pfeile. Alle Pfeile werden mit der gleichen Kraft zurückgezogen, diese bleibt also konstant. Wenn sich die Masse der Pfeile verändert, muss die Beschleunigung der Pfeile sich laut

$$F = m \cdot a$$

ebenfalls verändern. Bei der Carbon-Pfeilmasse von 370 Grain wäre die Beschleunigung also, im Vergleich zu den anderen Pfeilmassen von 556 Grain und 741 Grain, am höchsten. Es würde der Aluminiumpfeil mit einer Masse von 556 Grain und einer niedrigeren Beschleunigung folgen. Den Abschluss würde der Holzpfeil mit einer Masse von 741 Grain und der niedrigsten Beschleunigung machen.

6. Der Bogenbau

Um die unterschiedlichen Bögen zu bauen haben wir als Ausgangsstoff einen Holzrohling aus Rattan mit einer Länge von 144 cm und einem Durchmesser von 4 cm verwendet.

Als Werkzeuge wurden eine Heißluftpistole, Schraubzwingen, ein Tillerbrett, ein Bandschleifer, eine Bandsäge, ein Ziehmesser, ein Dremel und Sandpapier benutzt.

6.1. Bau Langbogen

Beim Bau des Langbogens wurde ein Holzrohling aus Rattan mit einer Länge von 144cm und einem Durchmesser von 4cm verwendet. Zuerst wird die Bogenmitte markiert, die Fadeouts¹² und das Bogenprofil aufgezeichnet. Im Anschluss wurde der Rattanrohling in seine grobe Form gefräst. Dabei wurde auf die unterschiedliche Breite zwischen Wurfarmen und Griff geachtet. Im nächsten Schritt zeichnet man die Wurfarmbreite auf, diese beträgt 4cm an den Fadeouts und 1,5cm an den Tips. Danach folgte das Aussägen der Wurfarm und die Tips¹³ wurden angefertigt. Anschließend wurde die Sehnenkerbe eingefräst, um daraufhin den Rohling das erste mal auf einem Tillerbrett auf Standhöhe aufzuspannen und auf Symmetrie zu untersuchen.



Abbildung 2: Zu sehen ist ein Langbogen mit einem Auszug von 28 Zoll. Mit dieser Vorrichtung, dem Tillerbrett, wird überprüft ob der Bogen bei beiden Wurfarmen die gleiche Krümmung hat.

12) Fadeouts: Übergang zwischen Griff und Wurfarm

13) Tips: Spitzen der Wurfarme

Bei einem Auszug auf 24 Zoll wird der Bogen auf eine etwaige asymmetrische Biegung der Wurfarme untersucht. Falls dies der Fall sein sollte, werden die ungleichen Stellen markiert und im nächsten Schritt bearbeitet. Nach der Überarbeitung der Wurfarme wird der Bogen erneut aufgezogen, diesmal aber auf 26 Zoll. Wenn die Bogensymmetrie stimmt, wird zunächst das Schussfenster ausgefeilt, falls sie nicht stimmt, wird das Überarbeiten und Ausziehen wiederholt, bis die vorgegebenen Maße erreicht sind. Es wird darauf geachtet, dass der untere Wurfarm minimal stärker als der obere Wurfarm ist, damit sich der Pfeil beim Abschuss richtig vom Schussfenster löst und eine Beschädigung der Befiederung vermieden wird. Das Ergebnis ist ein Langbogen aus Rattan mit einer Länge von 144 cm, einer Sehnenlänge von 136 cm, einer Standhöhe von 15,5 cm und einem Zuggewicht von 11 kg bei 28 Zoll, welcher auf Standhöhe aufgespannt ist.

6.2. Umbau Langbogen zu Recurvebogen

Um den zuvor gebauten Langbogen in einen Recurvebogen umzubauen, wird der folgende Vorgang an einer Seite vorgenommen und anschließend am anderen Wurfarm wiederholt. Zuerst wird, um das Rattan zu verformen, mit einer Heißluftpistole die Spitze des Tips erwärmt, bis sie etwa karamellfarben ist und mithilfe von Tischklemmen an der Recurve-Vorlage befestigt werden kann. Anschließend wird nach und nach das



Abbildung 3: Mithilfe einer Heißluftpistole werden die Tips des Bogens entgegengesetzt zur Biegung der Wurfarme erhitzt und umgebogen, wodurch die sogenannten Recurves entstehen.

restliche Rattan erwärmt und um die Vorlage gebogen. Wenn die gewünschte Form erreicht ist, wird das Material von den Tischklemmen befreit und an der Luft ausgekühlt. Letztlich muss nur noch die Sehne gespannt werden und der Recurvebogen ist wieder einsatzbereit.

6.3. Umbau Recurvebogen zu Reiterbogen

Der Reiterbogen zeichnet sich durch seine gewellte Form aus, die durch eine Veränderung der Tips und Wurfarme entsteht. Als Grundlage zum Bau des Reiterbogens wird ein Recurvebogen verwendet, der die Maße 144 cm Bogenlänge zu 16 cm Standhöhe besitzt.



Abbildung 4: Im Bild erkennbar ist das Erhitzen und Biegen der Wurfarme, das Entstehen der gebogenen Fadeouts.

Im ersten Schritt werden die Fadeouts erhitzt und anschließend gleichmäßig beidseitig durchgebogen, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, allerdings entgegengesetzt zu den Tips, wodurch man einen Reiterbogen aus Rattan mit einer Länge von 144cm, einer Sehnenlänge von 130cm, einer Standhöhe von 16cm und einem Zuggewicht von 11kg bei 28 Zoll erhält, welcher auf Standhöhe aufgespannt ist.

7. Auswertung

7.1. Die unterschiedlichen Bogenformen

Es zeigt sich, dass die Effizienz, also der Wirkungsgrad der Energieübertragung vom Bogen auf den Pfeil, der Bogenformen wie folgend beschrieben ist. Die Reiterbogenform ist mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 40,7 % die effizienteste Bogenform, dicht gefolgt von der Recurvebogenform, mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 39,5 % als zweit effizienteste Bogenform. Somit ist die Langbogenform mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 33,2% die ineffizienteste Bogenform. Diese Wirkungsgrade wurden errechnet, indem die in Diagramm Eins bis Vier dargestellten Pfeilenergien durch eine Energie von 38 Joule geteilt wurde.

$$n = E_{\text{pfeil}} : 38 \text{ J}$$

Um die Formel am Beispiel zu verdeutlichen, setzt man den imaginären Messwert von 32 Joule in die Formel ein.

$$0,83 = 32 \text{ J} : 38 \text{ J}$$

Es entsteht ein imaginärer Wirkungsgrad von 83%.

Die Spannenergie des Bogens, 38 Joule, wird errechnet indem in der eigentlichen Formel

$$E_{\text{Spann}} = 0,5 \cdot F_{\text{Spann}} \cdot s$$

die benötigte Kraft zum Spannen des Bogens durch die Bestandteile eben dieser ersetzt wird.

$$E_{\text{Spann}} = 0,5 \cdot m_{\text{Bogen}} \cdot g \cdot s$$

Setzt man nun die bogen spezifischen Werte ein, welche eine Spannkraft von 11 Kilogramm und eine Strecke von 28 Zoll oder 0,71 Meter sind, erhält man eine Spannenergie von 38 Joule.

$$38 \text{ J} = 0,5 \cdot 11 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,71 \text{ m}$$

In den Mittelwerten der Pfeilenergien in den Diagrammen fünf-acht¹⁴, welche mit unterschiedlichen Sehnen gemessen wurden, findet sich die Gemeinsamkeit der Platzierung der Pfeilenergien.

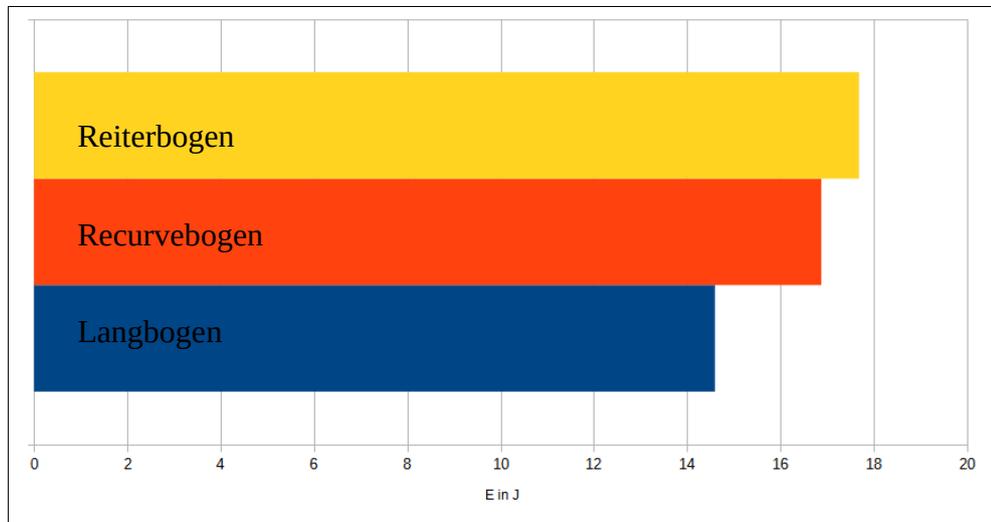


Abbildung 5: In der Abbildung werden die Mittelwerte der Energien der jeweiligen Bogenformen in Abhängigkeit von der Bauart dargestellt.

Die meiste Energie besitzen die Pfeile, welche mit der Reiterbogenform abgeschossen wurden, dicht gefolgt von den Energien der Recurvebogenform, gefolgt von den Energien der Langbogenform. Die Recurvebogenform hat einen Abstand von 0,8 Joule in Richtung der Reiterbogenform, einem Abstand von 2,2 Joule zur Langbogenform, wodurch sie eher zur Recurvebogenform hin tendiert. Diese Pfeilenergien resultieren aus den gemessenen Pfeilgeschwindigkeiten, die in die Formel

$$E = 0,5 \cdot m \cdot v^2$$

eingesetzt wurden. Da die Diagramme der Pfeilgeschwindigkeiten nur auf Basis von Carbonpfeilen existieren, gehen wir von einer einheitlichen Masse von 23,97 Gramm aus. Die Pfeilgeschwindigkeiten, aus den Diagrammen neun bis zwölf sind die Grundlage aller Energien und Wirkungsgrade.¹⁵

14) Abbildungen 6-8 sind im Anhang zu finden

15) Abbildungen 10-12 sind im Anhang zu finden

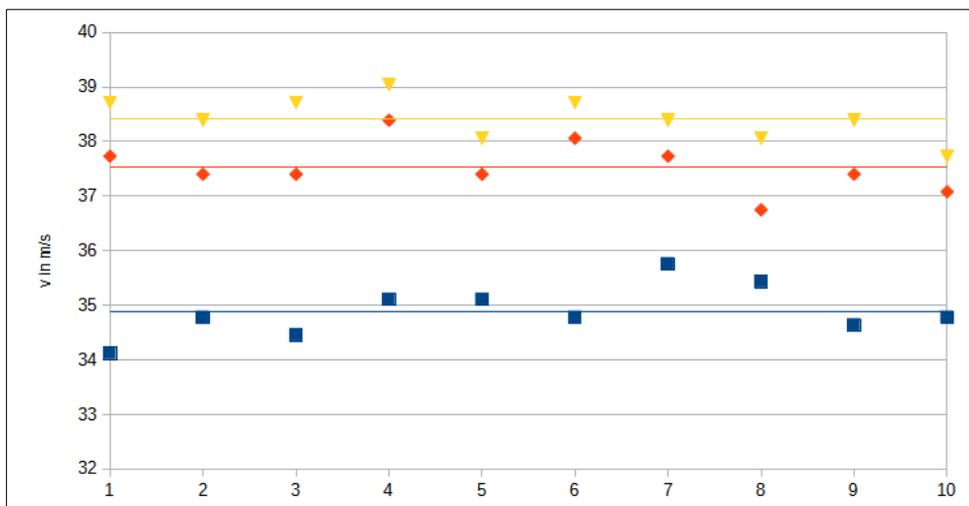


Abbildung 9: Zu sehen sind die Pfeilgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bogenformen, welche abhängig von der Bauform sind.

Deutlich zu sehen ist die hohe Geschwindigkeit der Carbonpfeile, welche von einem Reiterbogen abgeschossen wurden, im Vergleich zu den moderaten Pfeilgeschwindigkeiten des Recurvebogens und den langsamen Pfeilgeschwindigkeiten des Langbogens. Die Pfeilgeschwindigkeiten des Recurvebogens tendieren wieder in Richtung des Reiterbogens, wodurch ein größerer Abstand zu den Geschwindigkeiten des Langbogens herrscht. Die unterschiedlichen Pfeilgeschwindigkeiten entstehen durch die baulichen Veränderungen der Bogenformen. Da die Bogenformen bei gleichem Auszug die gleiche Zugkraft haben mussten, wurden die Wurfarne beim Umbau auf die jeweilige Form abgeschliffen und somit die Tiefe der Wurfarne verringert. Dadurch wird auch das Gewicht der Wurfarne kleiner, wodurch die Beschleunigung, bei gleichbleibender Kraft, laut der Formel

$$F = m \cdot a$$

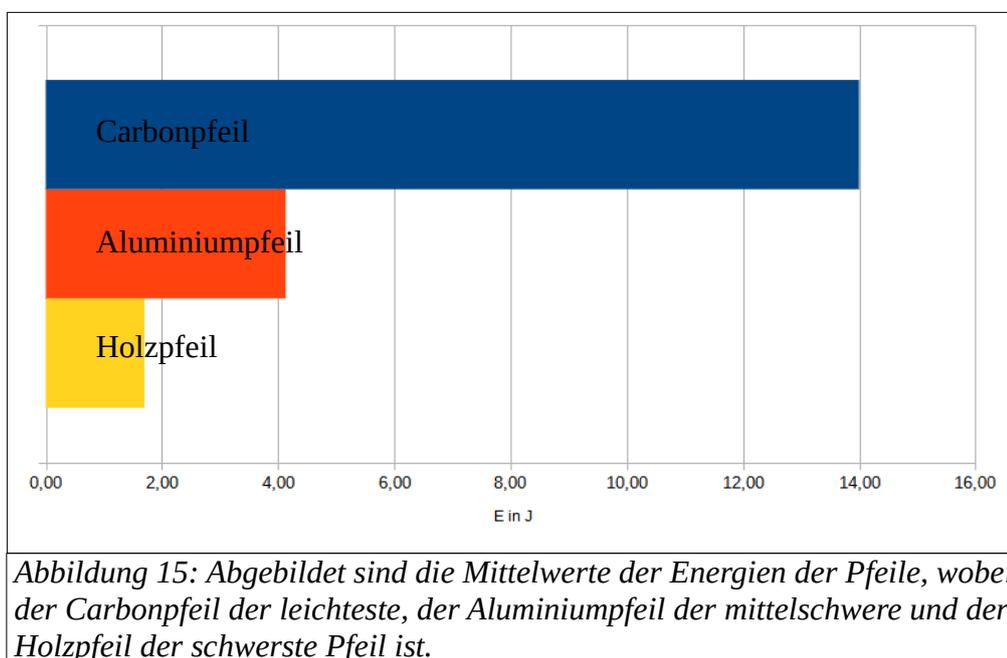
erhöht wird. Hauptgrund für die Geschwindigkeitsdifferenzen ist allerdings die eigentliche Bogenform. Während beim Langbogen keinerlei Modifikationen an den Wurfarne bestehen, gibt es beim Recurvebogen die umgebogenen Tips, die für eine bessere Energieübertragung vom Bogen an den Pfeil sorgen. Durch die umgebogenen Tips kommt es beim Abschuss des Pfeils, kurz bevor sich der Pfeil vom Schussfenster löst, zu einer Verkürzung der Sehne. Dies sorgt für eine erhöhte Spannung der Sehne, die letztendlich zu einer erhöhten Abschussgeschwindigkeit des Pfeils führt. Ein weiterer,

wichtiger Punkt ist die Ausrichtung der Spitzen an den Recurves. Wie auf den Bildern 13 und 14 zu sehen ist, werden die Recurves vor dem Abschuss stark nach hinten gebogen, was die Wirkung der Sehnenverkürzung verstärkt. Die erhöhte Pfeilgeschwindigkeit wird auch dadurch verstärkt, dass das beim Bogenbau verwendete Material eine höhere Vorspannung als die Sehne hat und damit mehr Energie übertragen wird. Beim Reiterbogen kommen die gebogenen Wurfarme hinzu, die die Energieübertragung auf den Pfeil verbessern.

Das Material der Wurfarme, Rattan, hat eine höhere Vorspannung als die Sehne, wodurch im Rattan mehr Energie gespeichert werden kann als in der Sehne. Durch die gebogenen Fadeouts lässt sich das Rattan leichter biegen, wodurch mehr Energie im Wurfarm gespeichert wird und mehr Energie direkt an den Pfeil übertragen wird.

7.2. Die unterschiedlichen Pfeile

In Diagramm 13 werden die Wirkungsgrade der unterschiedlichen Pfeile dargestellt. Es wird deutlich erkennbar, dass der Holzpfeil den geringsten Wirkungsgrad hat.



Der Carbonpfeil hat den höchsten Wirkungsgrad. Der Aluminiumpfeil liegt zwischen beiden, aber mehr in der Richtung des Holzpfeiles. Somit lässt sich sagen, dass ein Schuss mit einem Carbonpfeil am effizientesten ist und ein Schuss mit einem Holzpfeil am ineffizientesten. Dieses Phänomen konnte schon bei der Messung beobachtet werden, da

die Carbonpfeile weitaus schneller flogen als die Aluminiumpfeile und diese wiederum schneller als die Holzpfeile.¹⁶

Dem Holzpfeil muss dem entsprechend mehr Energie zugeführt werden, um die gleiche Abschussgeschwindigkeit wie der Carbonpfeil zu erreichen.

Berechnet wurde die kinetische Energie mit.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Die unterschiedlichen Abschussgeschwindigkeit lassen sich auf die unterschiedlichen Massen der Pfeile zurückführen. Der Holzpfeil hat eine Masse von 48 Gramm, der Aluminiumpfeil von 36 Gramm und der Carbonpfeil von 24 Gramm. Durch das geringere Gewicht des Carbonpfeils muss die Sehne nicht so viel Energie aufbringen um die Trägheit des Pfeiles zu überwinden, wie zum Beispiel bei einem Holzpfeil. Durch die niedrigere Trägheit besitzt der Carbonpfeil keine so hohe Durchschlagskraft, wie der Aluminiumpfeil, da er schneller von einem Hindernis abgebremst wird. Folglich kann man mit einem Pfeil mit einer höheren Masse mehr Schaden an einem Ziel verursachen, als mit einem Pfeil mit niedrigerer Masse.

Unterschiede aufgrund der Masse gibt es nicht nur in der Trägheit des Pfeiles, sondern auch bei der Flugkurve. Ein leichterer Pfeil hat auf gleicher Distanz eine niedrigere Flugkurve als ein schwererer.

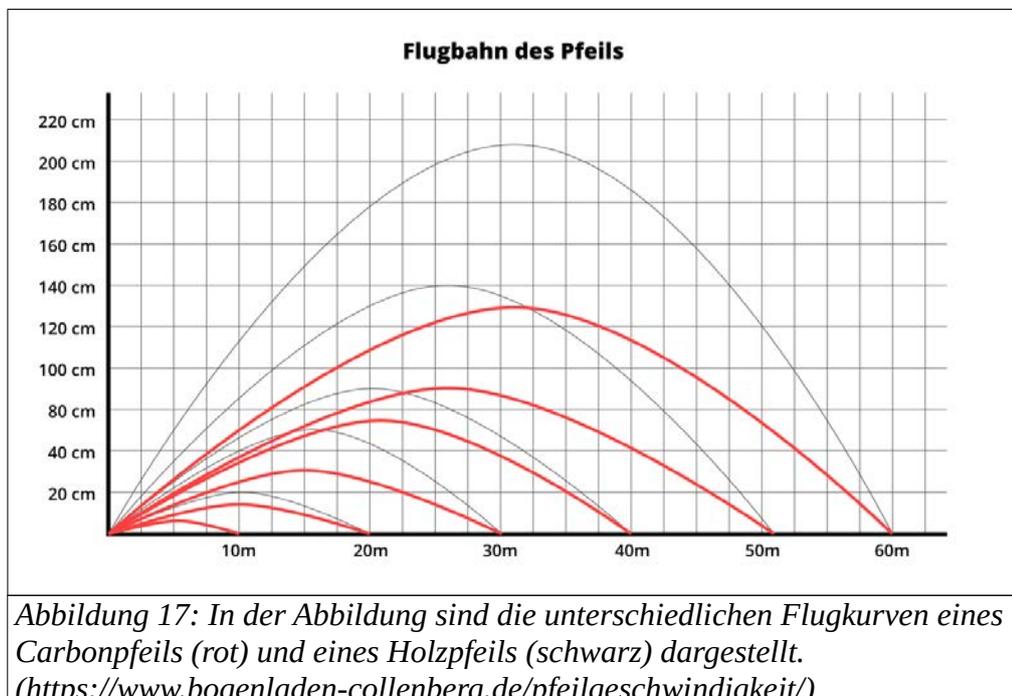


Abbildung 17: In der Abbildung sind die unterschiedlichen Flugkurven eines Carbonpfeils (rot) und eines Holzpfeils (schwarz) dargestellt. (<https://www.bogenladen-collenberg.de/pfeilgeschwindigkeit/>)

16) Abbildung 16 ist im Anhang zu finden

In Abbildung 15 wurden die unterschiedlichen Flugkurven eines Holzpfeiles, mit einer Masse von 390 Grain, und eines Carbonpfeils, mit einer Masse von 235 Grain dargestellt. Die Ursache davon, kann man in der Erdanziehungskraft finden. Die Gewichtskraft der einzelnen Pfeile wird mit der Formel

$$F_G = m_{\text{Pfeil}} \cdot g$$

ermitteln, wobei m die Masse der Pfeile und g der Ortsfaktor¹⁷ der Erde ist. Aus der Formel erhält man für den leichten Carbonpfeil nur eine Gewichtskraft von 0,15 N und bei dem massereicheren Holzpfeil hingegen eine fast doppelt so hohe Gewichtskraft von 0,25 N. Dieser Unterschied hat zur Folge, dass der Holzpfeil einen höheren Abschusswinkel benötigt und dadurch eine größere Ungenauigkeit beim Zielen entsteht.

Ein optimaler Pfeil sollte je Pfund Zuggewicht 9,8 Grain Gewicht haben. Das bedeutet für unsere Bögen, mit einem Zuggewicht von 11kg, kann man die optimale Pfeilmasse mit der Formel

$$m_{\text{Pfeil}} = \text{Zuggewicht} \cdot 9,8 \text{ GpP}$$

berechnen und erhält eine Masse von 15,37 Gramm.

Eine optimale Spitze wiegt zwischen 60 und 150 Grain. Am Ende des Pfeiles sollten sich Federn mit einer Länge von 6 cm bis 13 cm befinden. Kurze Federn dienen einen schnellen, kraftvollen Flug und lange Federn stabilisieren ihn. Da es beim Bogenschießen nicht den Ausdruck Pfeilgerade gibt, da sich der Pfeil um den Bogen herum „schlängelt“, spielt die Elastizität eines Pfeiles eine wichtige Rolle. Sie wird durch den Spine-Wert angegeben. Am besten ist ein Pfeil, der an der Spitze hart ist, im mittleren Teil nicht allzu steif und am Ende elastisch.¹⁸

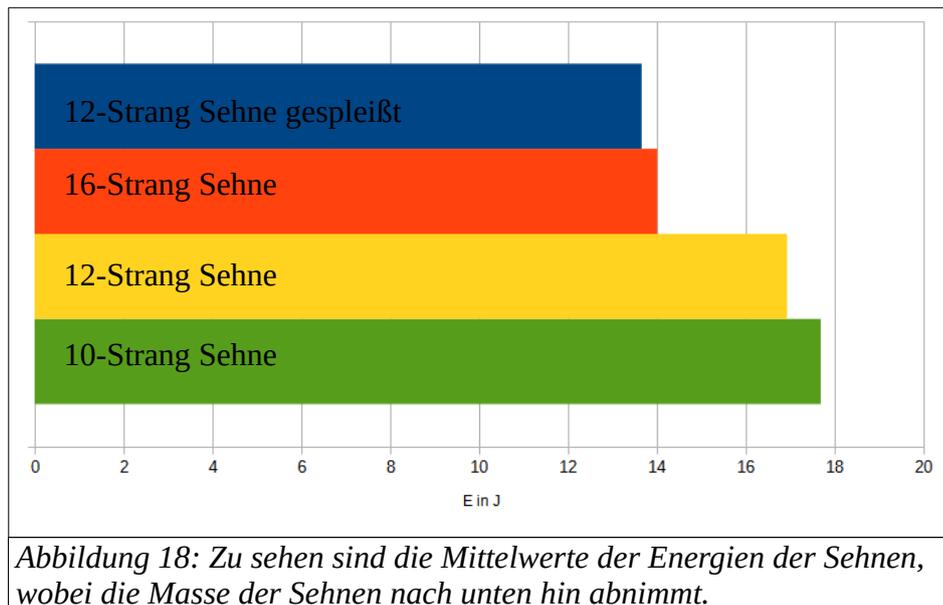
7.3. Die unterschiedlichen Sehnen

Da bereits zuvor festgestellt wurde, dass die optimale Bogenform der Reiterbogen und der optimale Pfeil der Carbonpfeil ist, werden die Messungen der unterschiedlichen

17) Ortsfaktor Erde = 9,81 N/kg

18) <https://www.arco-vienna.at/die-wahl-der-pfeile.html#:~:text=Das%20Gewicht%20eines%20Pfeils%20und,Zuggewicht%208%20grains%20haben%20sollte.>

Sehnentypen jeweils auf den Abschluss mithilfe von Carbonpfeil und Reiterbogen bezogen.

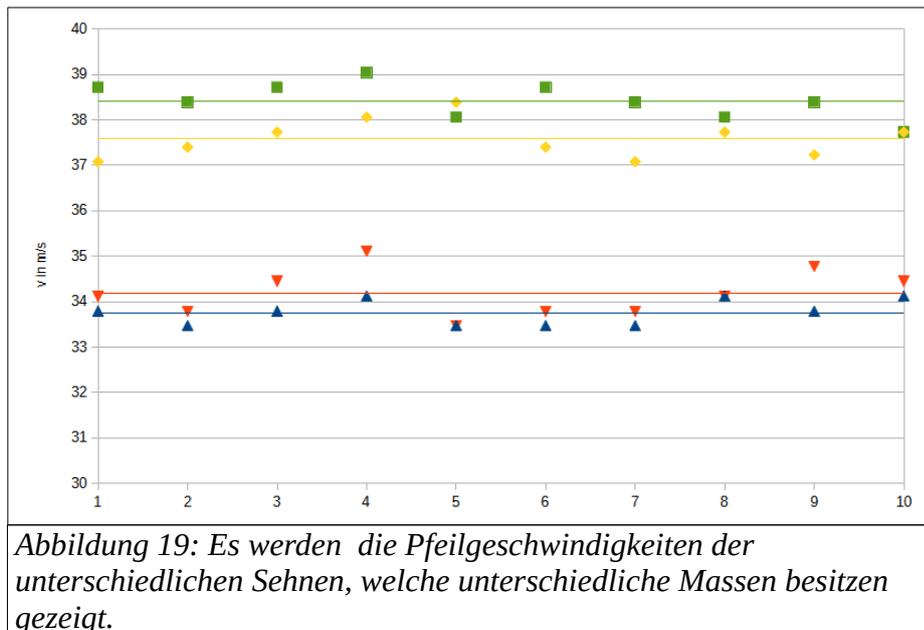


Die höchste durchschnittliche Abschussenergie besitzen jene Pfeile, welche mittels der 12-Strang Sehne abgeschossen werden, dicht gefolgt von der Energie der 10-Strang Sehne, in einigem Abstand gefolgt von der niedrigeren Energie der 16-Strang Sehne, worauf die 12-Strang Sehne mit einem geringen Abstand folgt. Diese Pfeilenergien resultieren aus den gemessenen Pfeilgeschwindigkeiten, die in die Formel der Pfeilenergie¹⁹ eingesetzt wurden.

Wie zuvor erwähnt wird hierbei ein Carbonpfeil mit einer Masse von 24 Gramm verwendet. Durch die ermittelten der Pfeilgeschwindigkeiten aus Diagramm 17 können somit Wirkungsgrad und Energie berechnet werden.

Anhand von Diagramm 17 lässt sich die hohe Abschussgeschwindigkeit des Carbonpfeils mithilfe des Reiterbogens und der 10-Strang Sehne erkennen, welche den Carbonpfeil durchschnittlich 0,92 Meter pro Sekunde schneller abschießt als die 12-Strang Sehne, welche den Pfeil wiederum durchschnittlich 3,4 Meter pro Sekunde schneller abschießen kann als die 16-Strang Sehne. Dieser Abstand macht den größten Sprung der Messreihe aus. Die langsamste Abschussgeschwindigkeit weist die 12-Strang Sehne auf, welche den Carbonpfeil um 0,43 Meter pro Sekunde langsamer abschießt als die vorhergehende Sehne.

19) $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot s$



Um die Unterschiede in der Pfeilgeschwindigkeit zu erklären, muss man folgendes betrachten: Es gibt zwei Sehnenarten, sogenannte gespleißte Sehnen und Endlos-Sehnen. Diese Sehnen unterscheiden sich in ihrem Aufbau. Gespleißte Sehnen dehnen sich beim Schuss noch etwas, wodurch weniger Energie an den Pfeil abgegeben wird. Das hat eine geringere Effizienz des Gesamtsystems zur Folge. Endlos-Sehnen, welche wir als „normale“ Sehnen bezeichnet haben, weisen weniger Dehnungsverhalten auf. Somit wird mehr Energie an den Pfeil abgegeben. Die Stärke einer Sehne muss an das Zuggewicht des Bogens angepasst sein. Dabei muss die Zugfestigkeit der Sehne ungefähr ein Achtel des Zuggewichts des Bogens betragen. Wird eine zu dicke oder zu schwere Sehne, mit zu vielen Strängen, bei einem Bogen verwendet, verbraucht der Bogen unnötig Kraft beim Beschleunigen der eigentlichen Sehne. Weniger Kraft am Pfeil führt wiederum zu einer niedrigeren Effizienz des Gesamtsystems.

7.4. Zusammenführung der Ergebnisse

Wie baue ich also einen möglichst effizienten Bogen? Der Bogen sollte, um effizient zu sein, Recurves besitzen, da diese der kontrahierenden Sehne, kurz vor Verlassen des Pfeils aus dem Schussfensters, mehr Beschleunigung verleihen. Außerdem sollte er gebogene Wurfarme haben, da die Vorspannung von Holz weitaus größer ist als die der Sehne und der Bogen somit weniger Energie an die Umwelt abgibt. Der Bogen sollte

mit einer 10-Strang Sehne bespannt sein, da diese, nicht wie in den Vorbetrachtungen vermutet, am wenigstens Stränge besitzt, sondern da sie durch die niedrige Anzahl von Strängen leichter ist und deswegen weniger Energie bei der Beschleunigung der Masse der Sehne verloren geht. Trotzdem gibt es einen großen Unterschied zwischen dem Wirkungsgrad der 12-Strang Sehne und dem Wirkungsgrad der 12-Strang gespleißten Sehne, obwohl beide Sehnen gleich schwer sind. Dieser Unterschied hat seine Ursache in der Elastizität der Sehne. Gespleißte Sehnen haben eine höhere Elastizität als die Endlos-Sehnen, die sonst verwendet wurden, die gespleißten Sehnen können durch ihre Elastizität bis zu einem Zoll länger werden. Als Pfeil sollte man einen leichten Carbonpfeil bevorzugen, da dieser durch seine geringe Masse am meisten Beschleunigung erfährt, wie in unserer Vorbetrachtung schon vermutet wurde. Dabei ist auffallend, dass die Pfeilgeschwindigkeit exponentiell langsamer wird, je mehr Masse der Pfeil besitzt. Der Carbonpfeil mit einer Masse von 24 Gramm besitzt, abgeschossen vom Reiterbogen und einer 10-Strang Sehne, eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 38,4 Metern pro Sekunde. Der Aluminiumpfeil mit einer Masse von 36 Gramm besitzt eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 17 Metern pro Sekunde. Da sich die Masse des Carbonpfeils um den Faktor eineinhalb multipliziert, muss demnach die Geschwindigkeit des Aluminiumpfeils um den Faktor 2,25 geringer werden. Das ist bei unseren Geschwindigkeiten der Fall, da 38,4 Meter pro Sekunde dividiert durch 2,25 tatsächlich rund 17 Meter pro Sekunde ergibt.

Um die Wirkungsgrade der selbstgebauten Bögen mit einem moderneren Bogen vergleichen zu können, wurde der Wirkungsgrad von einem carbonbelegten Hybridbogen ermittelt. Dessen Spannenergie setzt sich zusammen aus seinem Zuggewicht von 43 Pfund und seinem Auszug von 30,5 Zoll.

$$E_{Spann} = 0,5 \cdot m_{zug} \cdot g \cdot s$$

Somit erhält man eine Spannenergie von 74,1 Joule. Die kinetische Energie des Pfeiles wurde wieder mit der Formel

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

bestimmt. Es wurde ein Pfeil mit einer Masse von 24,6 Gramm abgeschossen, dieser erreichte eine Abschussgeschwindigkeit von 215 Fuß pro Sekunde. Somit hatte er eine kinetische Energie von 52,7 Joule.

Es ergibt sich ein Wirkungsgrad von 71 Prozent. Dieser Wirkungsgrad ist um durchschnittlich 30 Prozent höher, als der von den drei selbstgebauten Bögen.

Nun stellt sich die Frage, warum man trotzdem Bögen aus Rattan verwenden sollte, auch wenn sie einen viel niedrigeren Wirkungsgrad haben. Um diese Frage zu beantworten kann man einmal auf den Preis der Bögen schauen. Die Kosten eines fertigen Rattanbogens mit Sehne belaufen sich auf circa 100 Euro.²⁰ Baut man den Bogen allerdings selbst, trägt man nur die Kosten des Rattanrohlings und der Sehne. Ein carbonbelegter Hybridbogen hat einen Preis von 600 Euro²¹, was für Bogensport- und Bogensportbauanfänger, an die sich unsere Seminarfacharbeit richtet, viel zu viel Geld ist, um es für einen Bogen auszugeben. Zudem ist der Bauprozess eines solchen Hybridbogens viel anspruchsvoller, da Materialien aufeinander abgestimmt, geklebt und laminiert werden müssen. Somit ist ein Rattanbogen vor allem für Anfänger geeignet, ein Hybridbogen aufgrund seines Preises und der Herstellung für Profisportler.

Wie in 7.3. schon erläutert, ist eine gespleißte Sehne langsamer als eine nicht-gespleißte Sehne. Trotzdem verwenden vor allem klassische Bögen, wie auch unsere selbstgebauten Rattanbögen, meist gespleißte Sehnen, da diese durch ihre Elastizität die Bogenform nicht so stark belasten.²² Stark und oft belastete Bögen können im Griffteil, wo die Wurfarme zusammen laufen, brechen. Dies ist jedoch selten, da der Bogen durch seine Form Zugkräfte zur Sehne hin wesentlich besser aushält als von der Sehne weg. Deswegen entstehen die meisten Bogenbrüche durch das falsche Einspannen der Sehne oder durch andere, unsachgemäße Handhabungen. Eine Sehne sollte wie folgt eingespannt werden: Zuerst wird ein Ende der Sehne am Tip angebracht. Danach klemmt man den Bogen, mit dem eingespannten Tip nach unten, zwischen seine Beine, sodass sich das linke Bein außen am Recurve befindet und das rechte Bein zwischen der Mitte des Wurfarms und der Sehne steht. Der Bogen wird, da er zwischen den Beinen fixiert ist, in Richtung der Wurfarme gebogen und die Sehne wird gleichzeitig außen am rechten Bein entlanggeführt und am anderen Tip angebracht. Im letzten Schritt steigt man vorsichtig aus dem gespannten Bogen heraus und beachtet dabei, die Sehne nicht zu berühren.

20) <https://www.bogensport-beier.de/boegen-sets/rattanboegen/>

21) <https://www.bogensport-beier.de/boegen-sets/hybridboegen/>

22) <https://blog.bogensportdeutschland.de/bogensehnen-unterschiede/>

Bögen werden schon seit mehreren Jahrhunderten nicht mehr in Kriegen verwendet, der Trend geht dabei eher in Richtung der Feuerwaffe. Doch welche Vorteile und eventuellen Nachteile hat eine Feuerwaffe, wie die Muskete, gegenüber eines Langbogens? Ein Vorteil der Muskete ist die weitaus höhere Energie der Kugel und die daraus resultierende, ebenfalls höhere Durchschlagskraft. Durch die Schwarzpulverexplosion, welche die Kugel beschleunigt, wird diese bis zu 500 Meter weit geschossen, ein geübter Bogenschütze konnte seinen Pfeil eine maximale Distanz von 350 Metern schießen. Auch waren die maximalen Entfernungen für tödliche Schüsse bei Feuerwaffen doppelt so hoch wie bei Langbögen. Ebenso konnte das Bedienen einer Muskete von jedermann ohne viel Aufwand gelernt werden, wogegen das richtige Zielen und Schießen eines Bogens monatelange Ausbildung und Training voraussetzte.²³ Außerdem gibt es Unterschiede in der Herstellung der jeweiligen Munition. Pfeile mussten aufwändig in Handarbeit hergestellt werden, wo hingegen Kugeln für Musketen in einfachen Formen gegossen werden konnten.²⁴ Somit war die Herstellung der Pfeile nicht nur aufwändiger, sondern dauerte auch länger.

8. Fazit und Ausblick

In der vorliegenden Seminarfacharbeit wurde die Effizienz von verschiedenen Bogenformen, Sehnen und Pfeilen untersucht. Dabei wurde das Ziel verfolgt, den energieeffizientesten Bogen für Anfänger zu bauen, sowie den Bogensport der Gesellschaft näher zu bringen.

Bei der Wahl der Bogenform sollte man darauf achten, dass die Wurfarne des Bogens gebogen sind und er Recurves besitzt. Als Sehne sollte eine 10-Strang Sehne gewählt werden. Ein optimaler Pfeil sollte eine Masse von 9,8 Grain pro kg Zuggewicht haben.

Da nur einfache Bögen aus Rattan betrachtet wurden, könnte es weiterführend interessant sein die Effizienz von moderneren Bögen und Sehnen zu betrachten, vor allem in Hinblick auf olympische Sportbögen. Des weiteren wäre denkbar, dass man die Verwendung von anderen Materialien, beim Bogen selbst oder bei der Sehne analysiert.

23) <https://www.wissenschaft-x.com/reason-bows-were-replaced-with-guns>
<https://www.si-games.com/forum/archive/index.php/t-7571.html#:~:text=Die%20Musketen%20waren%20den%20Bögen,noch%20als%20schweren%20Knüppel%20einsetzen.>

24) <https://metalldetektorenvergleich.de/was-sind-musketenkugeln/>

9. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei all denjenigen bedanken, die uns bei der Anfertigung dieser Seminarfacharbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt unser Dank Herrn Lind, der uns als unser Außenbetreuer in das Thema eingeführt hat, sich Zeit für den gemeinsamen Bau der Bögen genommen hat und uns bei Fragen tatkräftig unterstützt hat. Er hat uns gelehrt, was es heißt, einen Bogen zu bauen, zu besitzen, zu pflegen und rücksichtsvoll mit ihm umzugehen. Er hat uns das Bogenschießen beigebracht und uns immer motiviert, weiter zu machen. Alex, wir danken dir!

Ebenfalls möchten wir uns bei Herr Ring und Frau Heidler bedanken, die uns aus erfahrener Perspektive mit immer neuen Verbesserungsvorschlägen, Tipps und Tricks zur Seite standen.

10. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erklären wir, dass diese Seminarfacharbeit selbständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln verfasst wurde.

Alle sinngemäßen Textstellen aus Büchern oder dem Internet wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Diese Seminarfacharbeit ist zuvor an keinem anderen Gymnasium eingereicht wurden.

Ort, Datum, Unterschrift

Ort, Datum, Unterschrift

Ort, Datum, Unterschrift

11. Anhang & Quellen

11.1. Abbildungen

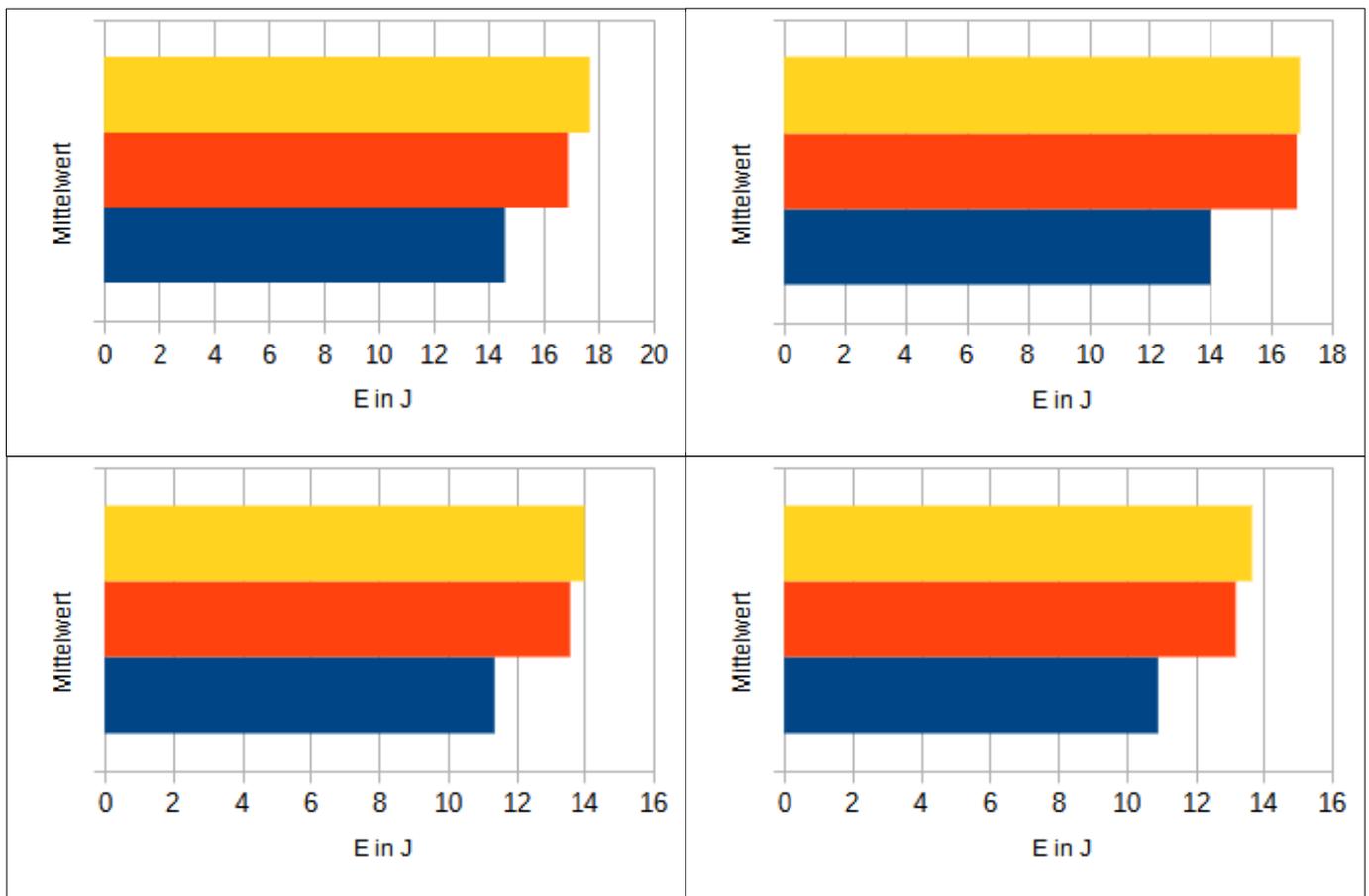
Abbildung 1:

<https://mtv-berg.de/wp-content/uploads/2020/03/Muskelgruppen.png>

(Abgerufen am 10.09.2022)

Abbildung 17:

<https://www.bogenladen-collenberg.de/pfeilgeschwindigkeit/> (Abgerufen am 10.09.2022)



Mittelwerte der Carbonpfeilenergien der unterschiedlichen Bogenformen.

Von Links oben nach Rechts unten:

Abbildung 5 zeigt die Messwerte, welche mithilfe der 10-Strang Sehne aufgenommen wurden.

Abbildung 6 zeigt die Messwerte, welche mithilfe der 12-Strang Sehne aufgenommen wurden.

Abbildung 7 zeigt die Messwerte, welche mithilfe der 16-Strang Sehne aufgenommen wurden.

Abbildung 8 zeigt die Messwerte, welche mithilfe der 12-Strang gespleißten Sehne aufgenommen wurden.

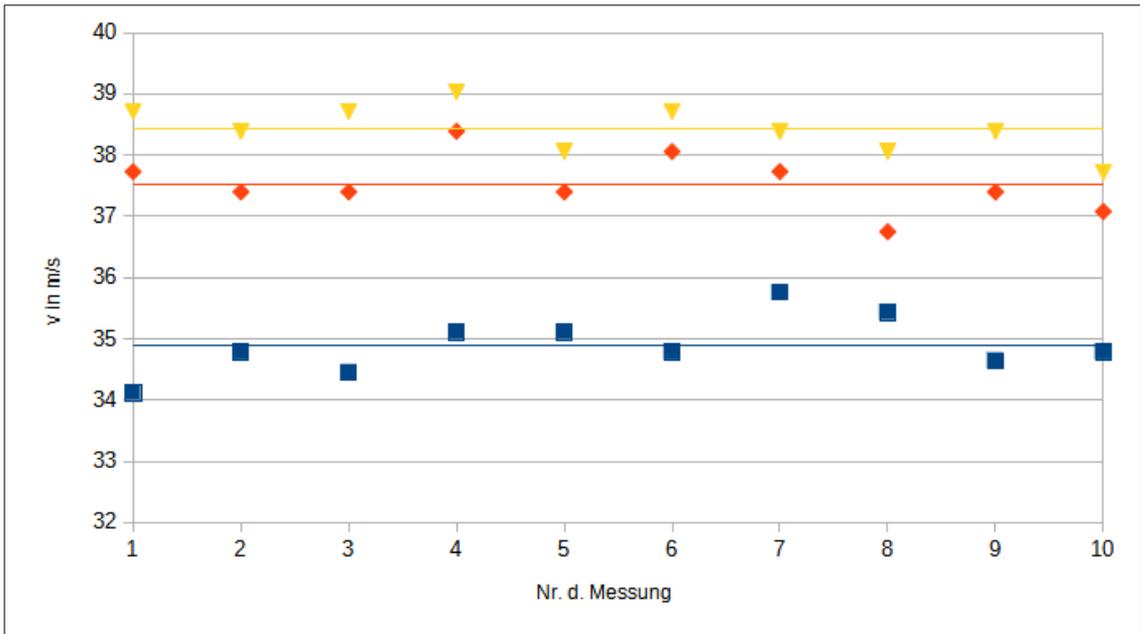


Abbildung 9: Carbonpfeilgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bogenformen, abgeschossen mit 10-Strang Sehne.

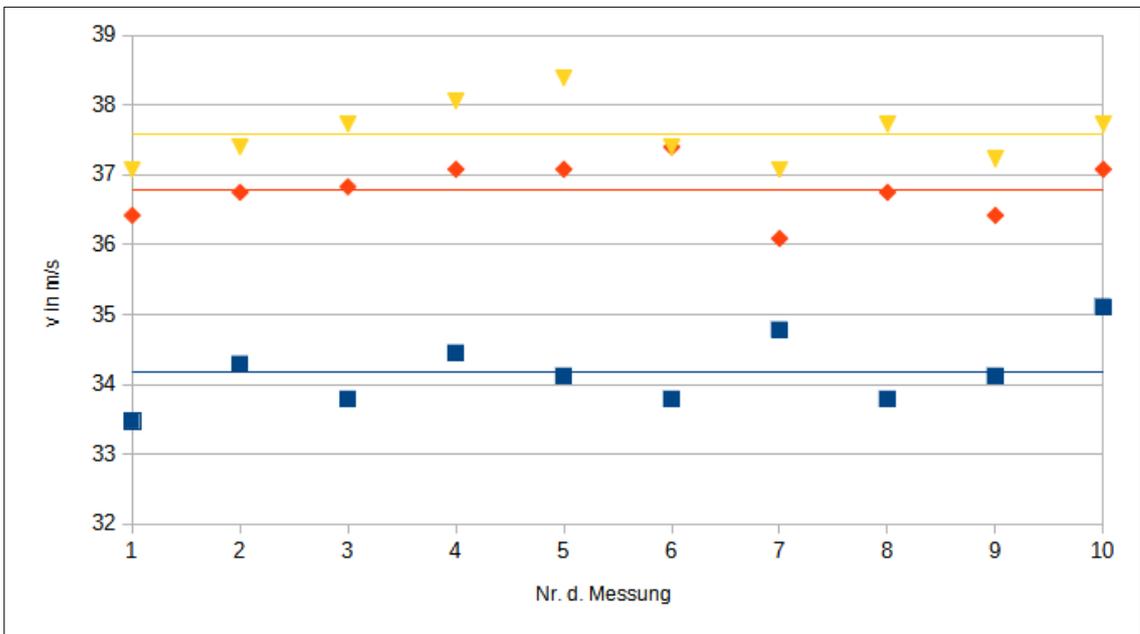


Abbildung 10: Carbonpfeilgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bogenformen, abgeschossen mit 12-Strang Sehne.

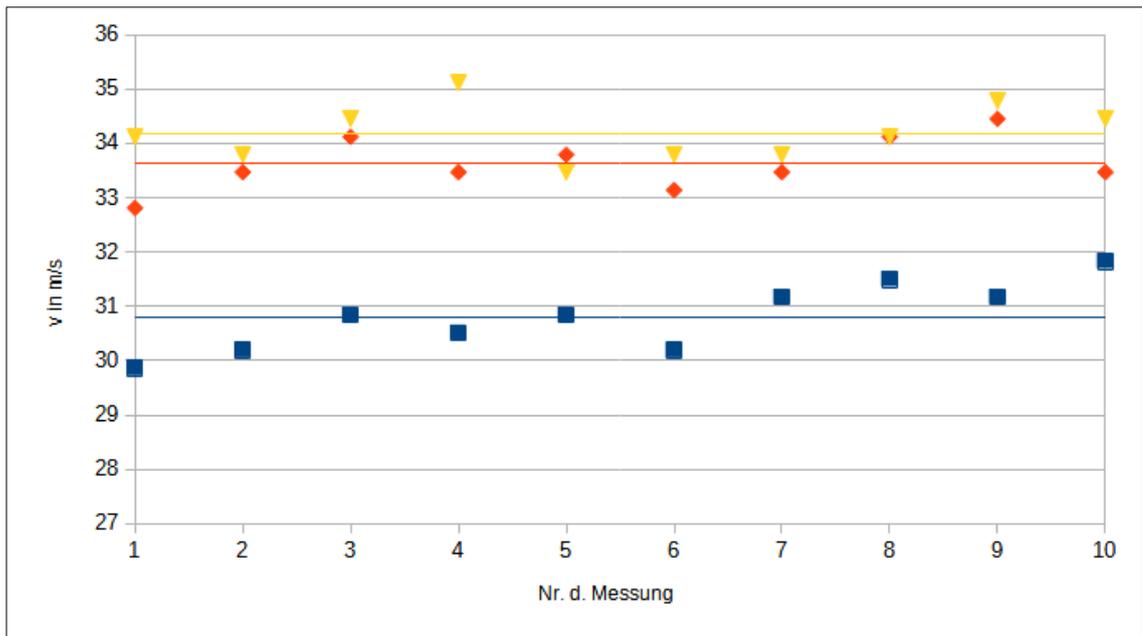


Abbildung 11: Carbonpfeilgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bogenformen, abgeschossen mit 16-Strang Sehne.

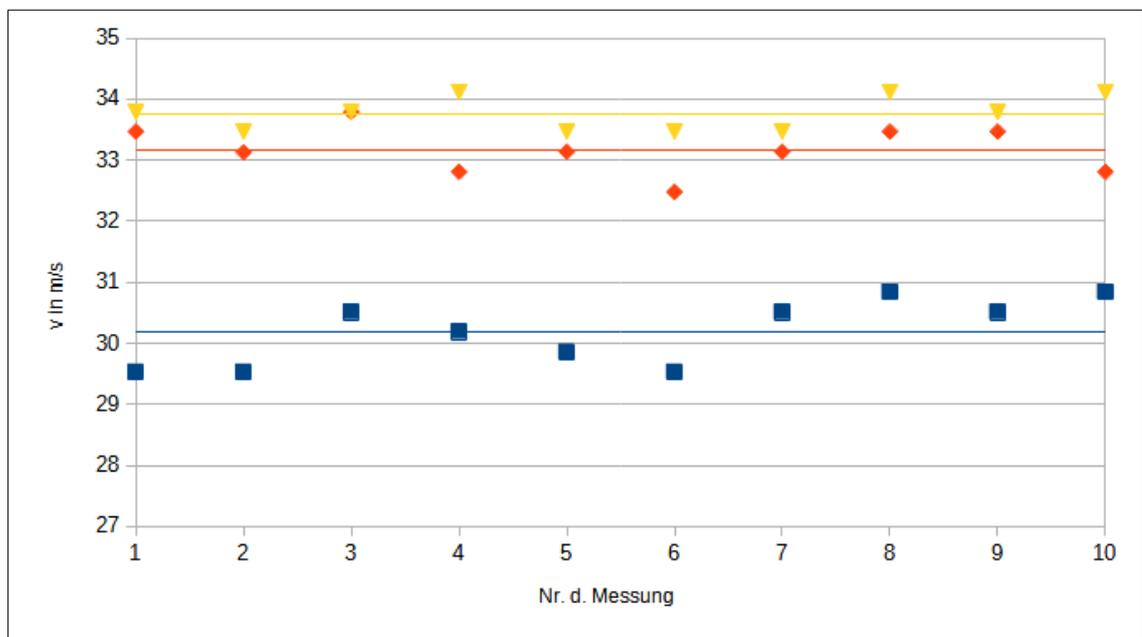


Abbildung 12: Carbonpfeilgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bogenformen, abgeschossen mit 12-Strang gespleißter Sehne.

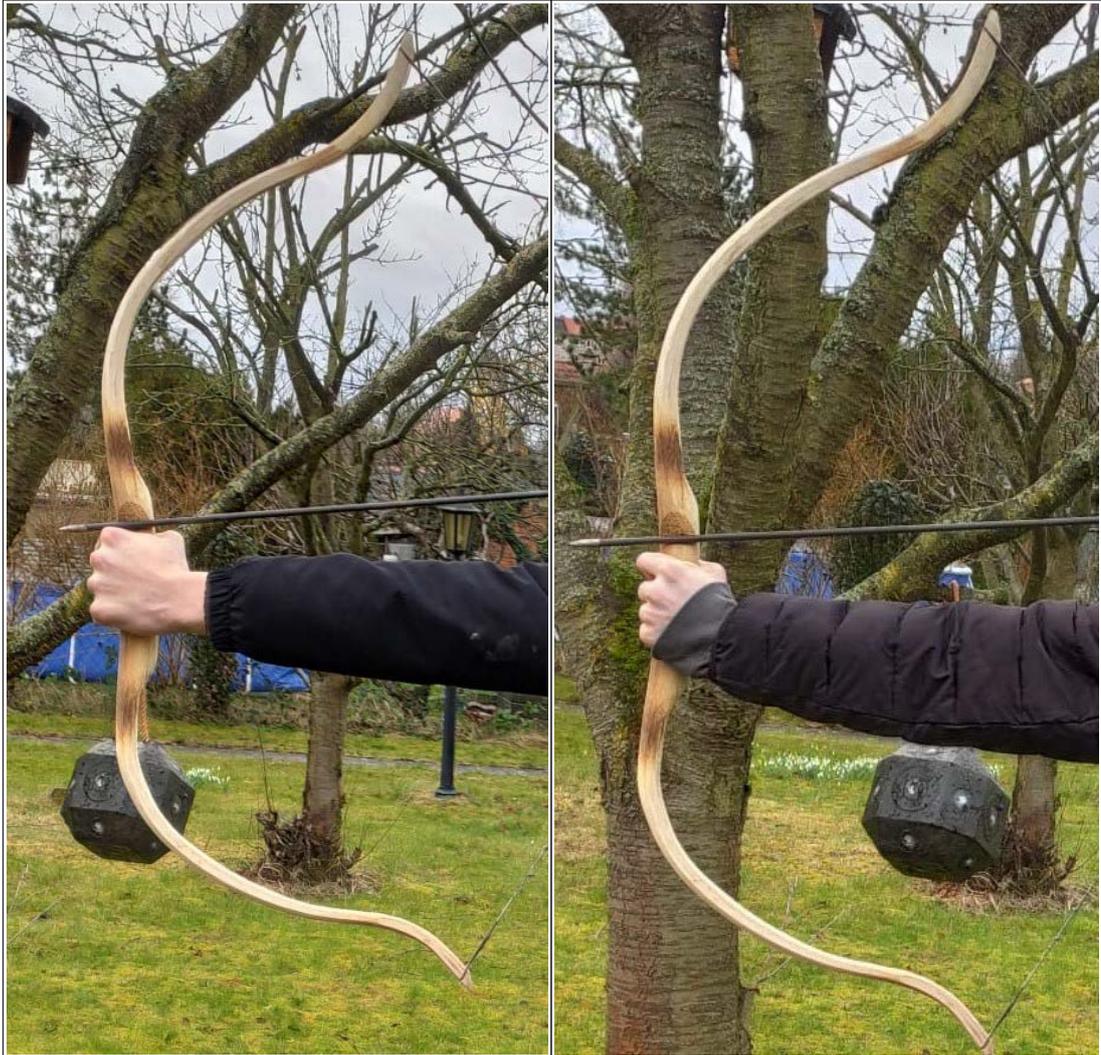


Abbildung 13 und 14: Wie sie jeweils an beiden Tips sehen, werden die Recurves optimal ausgenutzt, da ein großer Winkel der Recurves zum Wurfarm zu sehen ist.

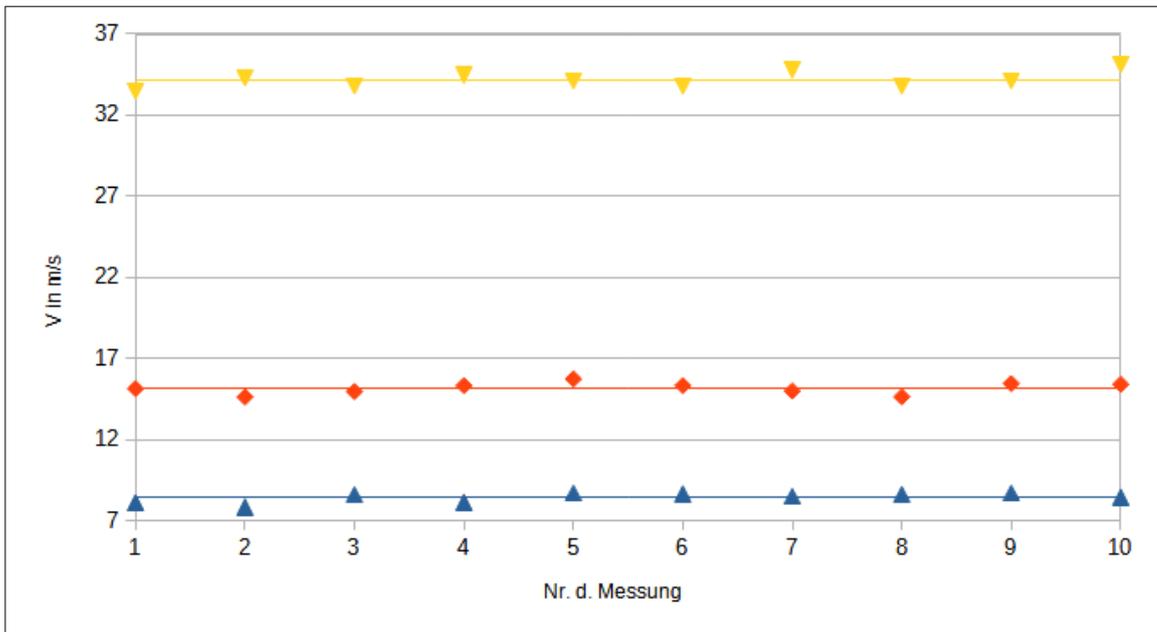


Abbildung 16: Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Pfeile, mit Langbogen und 12-Strang Sehne abgeschossen.

11.2. Messwerttabellen

Geschwindigkeiten des Carbonpfeils

Alle Messwerte sind in Meter pro Sekunde angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>	
	33,47	36,42	37,08
	34,29	36,75	37,4
	33,79	36,83	37,73
	34,45	37,08	38,06
	34,12	37,08	38,39
	33,79	37,4	37,4
	34,78	36,09	37,08
	33,79	36,75	37,73
	34,12	36,42	37,23
	35,11	37,08	37,73
D=33,2	D=36,8	D=37,6	

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>	
	34,12	37,73	38,72
	34,78	37,4	38,39
	34,45	37,4	38,72
	35,11	38,39	39,04
	35,11	37,4	38,06
	34,78	38,06	38,72
	35,76	37,73	38,39
	35,43	36,75	38,06
	34,64	37,4	38,39
	34,78	37,08	37,73
D=34,9	D=37,5	D=38,4	

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>	
	29,86	32,81	34,12
	30,19	33,47	33,79
	30,84	34,12	34,45
	30,51	33,47	35,11
	30,84	33,79	33,47
	30,19	33,14	33,79
	31,17	33,47	33,79
	31,5	34,12	34,12
	31,17	34,45	34,78
	31,83	33,47	34,45
D=30,8	D=33,6	D=34,2	

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>
29,53	33,47	33,79
29,53	33,13	33,47
30,51	33,79	33,79
30,19	32,81	34,12
29,86	33,14	33,47
29,53	32,48	33,47
30,51	33,14	33,47
30,84	33,47	34,12
30,51	33,47	33,79
30,84	32,81	34,12
D=30,2	D=33,2	D=33,8

Energien des Carbonpfeils

Alle Messwerte sind in Joule angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang Sehne</u>
13,42	16,56	16,47
14,11	16,86	16,77
13,69	16,28	17,06
14,22	17,16	17,36
13,95	17,16	17,66
13,69	17,47	16,77
14,5	16,26	16,47
13,69	16,86	17,06
13,95	16,56	16,63
14,77	17,16	17,06
D=13,99	D=16,83	D=16,93

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10- Strang Sehne</u>
13,95	17,06	17,96
14,5	16,77	17,66
14,22	16,77	17,96
14,77	17,66	18,27
14,77	16,77	17,36
14,5	17,36	17,96
15,33	17,06	17,66
15,05	16,18	17,36
14,4	16,77	17,66
14,5	16,47	17,06
D=14,6	D=16,88	D=17,69

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
10,68	12,9	13,95
10,92	13,42	13,69
11,4	13,95	14,22
11,16	13,42	14,77
11,4	13,69	13,42
10,92	13,16	13,69
11,64	13,42	13,69
11,89	13,95	13,95
11,64	14,22	14,5
12,14	13,42	14,22
D=11,38	D=13,56	D=14,01

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
10,45	13,42	13,69
10,45	13,16	13,42
11,16	13,69	13,69
10,92	12,9	13,95
10,68	13,16	13,42
10,45	12,65	13,42
11,16	13,16	13,42
11,4	13,42	13,95
11,16	13,42	13,69
11,4	12,9	13,95
D=10,92	D=13,19	D=13,66

Wirkungsgrade des Carbonpfeils

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>
0,35	0,432	0,43
0,368	0,44	0,438
0,357	0,424	0,445
0,371	0,448	0,453
0,364	0,448	0,461
0,357	0,456	0,438
0,379	0,425	0,43
0,357	0,44	0,445
0,364	0,432	0,433
0,386	0,448	0,445
D=0,365	D=0,439	D=0,442

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>
0,364	0,45	0,469
0,378	0,445	0,461
0,371	0,438	0,469
0,386	0,461	0,477
0,386	0,438	0,453
0,378	0,453	0,469
0,4	0,445	0,461
0,393	0,423	0,453
0,375	0,438	0,461
0,378	0,43	0,445
D=0,381	D=0,442	D=0,462

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
0,279	0,337	0,364
0,285	0,35	0,357
0,298	0,364	0,371
0,291	0,35	0,386
0,298	0,357	0,35
0,285	0,344	0,357
0,304	0,35	0,357
0,31	0,364	0,364
0,304	0,371	0,378
0,317	0,35	0,371
D=0,297	D=0,354	D=0,366

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
0,273	0,35	0,357
0,273	0,344	0,35
0,291	0,357	0,357
0,285	0,337	0,364
0,279	0,344	0,35
0,273	0,33	0,35
0,291	0,344	0,35
0,298	0,35	0,364
0,291	0,35	0,357
0,298	0,337	0,364
D=0,285	D=0,344	D=0,356

Geschwindigkeiten des Aluminiumpfeils

Alle Messwerte sind in Meter pro Sekunde angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>	
	15,12	16,26	16,48
	14,61	16,37	17,16
	14,95	16,46	16,49
	15,31	16,72	16,82
	15,72	15,98	16,93
	15,31	16,15	16,73
	14,98	16,21	16,59
	14,62	16,11	16,41
	15,44	16,34	16,74
	15,39	16,49	16,84

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>	
	15,68	16,96	17,03
	15,58	16,75	16,95
	15,43	16,55	17,24
	15,41	16,76	16,99
	15,21	16,62	17,31
	15,68	16,48	17,1
	15,48	16,87	16,97
	15,63	16,79	17,04
	15,8	16,63	17,08
	15,14	16,35	17,01

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>	
	13,27	14,58	15,16
	13,42	14,88	15,02
	13,71	15,16	15,31
	13,56	14,88	15,63
	13,71	15,02	14,88
	13,42	14,73	15,02
	13,85	14,88	15,46
	14	15,16	15,16
	13,85	15,31	15,02
	14,15	14,88	15,31

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>
13,12	14,88	15,02
13,12	14,72	14,72
13,56	15,02	15,14
13,42	14,58	15,22
13,27	14,73	14,75
13,12	14,44	14,88
13,56	14,73	15,16
13,71	14,88	15,02
13,56	14,69	15,03
13,71	14,58	14,98

Energien des Aluminiumpfeils

Alle Messwerte sind in Joule angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang Sehne</u>
4,12	4,76	4,89
3,84	4,82	5,30
4,02	4,88	4,89
4,22	5,03	5,09
4,45	4,60	5,16
4,22	4,69	5,04
4,04	4,73	4,95
3,85	4,67	4,85
4,29	4,81	5,04
4,26	4,89	5,10

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10- Strang Sehne</u>
4,43	5,18	5,22
4,37	5,05	5,17
4,29	4,93	5,35
4,27	5,06	5,20
4,16	4,97	5,39
4,43	4,89	5,26
4,31	5,12	5,18
4,40	5,07	5,23
4,49	4,98	5,25
4,13	4,81	5,21

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
3,17	3,83	4,14
3,24	3,99	4,06
3,38	4,14	4,22
3,31	3,99	4,40
3,38	4,06	3,99
3,24	3,91	4,06
3,45	3,99	4,30
3,53	4,14	4,14
3,45	4,22	4,06
3,60	3,99	4,22

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
3,10	3,99	4,06
3,10	3,90	3,90
3,31	4,06	4,13
3,24	3,83	4,17
3,17	3,91	3,92
3,10	3,75	3,99
3,31	3,91	4,14
3,38	3,99	4,06
3,31	3,88	4,07
3,38	3,83	4,04

Wirkungsgrade des Aluminiumpfeils

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>
0,107	0,124	0,127
0,100	0,126	0,138
0,105	0,127	0,128
0,110	0,131	0,133
0,116	0,120	0,134
0,110	0,122	0,131
0,105	0,123	0,129
0,100	0,122	0,126
0,112	0,125	0,131
0,111	0,128	0,133
D=0,108	D=0,125	D=0,131

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>
0,115	0,135	0,136
0,114	0,132	0,135
0,112	0,129	0,139
0,111	0,132	0,135
0,109	0,130	0,141
0,115	0,127	0,137
0,112	0,134	0,135
0,115	0,132	0,136
0,117	0,130	0,137
0,108	0,125	0,136
D=0,113	D=0,130	D=0,137

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
0,083	0,100	0,108
0,085	0,104	0,106
0,088	0,108	0,110
0,086	0,104	0,115
0,088	0,106	0,104
0,085	0,102	0,106
0,090	0,104	0,112
0,092	0,108	0,108
0,090	0,110	0,106
0,094	0,104	0,110
D=0,088	D=0,105	D=0,108

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
0,081	0,104	0,106
0,081	0,102	0,102
0,086	0,106	0,108
0,085	0,100	0,109
0,083	0,102	0,102
0,081	0,098	0,104
0,086	0,102	0,108
0,088	0,104	0,106
0,086	0,101	0,106
0,088	0,100	0,105
D=0,084	D=0,102	D=0,105

Geschwindigkeiten des Holzpfeils

Alle Messwerte sind in Meter pro Sekunde angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>	
	8,10	9,09	9,33
	7,83	8,79	9,23
	8,58	8,70	9,47
	8,12	9,22	9,38
	8,67	8,73	9,22
	8,64	9,18	9,13
	8,47	8,84	9,41
	8,60	8,71	9,18
	8,67	9,12	9,40
	8,43	9,21	9,58

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>	
	8,49	9,38	9,61
	8,94	9,50	9,75
	8,38	9,25	9,59
	8,55	9,29	9,69
	8,89	9,55	9,48
	8,68	9,42	9,52
	8,77	9,34	9,60
	8,85	9,26	9,74
	8,53	9,53	9,45
	8,74	9,36	9,64

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>	
	7,71	8,42	8,55
	7,69	8,53	8,34
	7,63	8,33	8,91
	7,28	8,19	8,21
	7,93	8,87	8,48
	7,75	8,65	8,39
	7,97	8,73	8,77
	7,55	7,91	8,49
	7,63	8,51	8,61
	7,7	7,84	8,69

<u>Langbogen mit 12-Strang- gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang gespleißter Sehne</u>
7,54	8,29	8,44
7,81	8,31	8,56
7,34	8,25	8,87
7,89	8,01	8,34
7,67	8,11	8,09
7,55	8,34	8,76
7,31	8,57	8,47
7,45	8,77	8,51
7,66	8,36	8,39
7,32	8,42	8,23

Energien des Holzpeils

Alle Messwerte sind in Joule angegeben.

<u>Langbogen mit 12-Strang- Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12- Strang Sehne</u>
1,57	1,98	2,09
1,47	1,85	2,04
1,77	1,82	2,15
1,58	2,04	2,11
1,80	1,83	2,04
1,79	2,02	2,00
1,72	1,88	2,13
1,78	1,82	2,02
1,80	2,00	2,12
1,71	2,04	2,20

<u>Langbogen mit 10-Strang- Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10- Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10- Strang Sehne</u>
1,73	2,11	2,22
1,92	2,17	2,28
1,69	2,05	2,21
1,75	2,07	2,25
1,90	2,19	2,16
1,81	2,13	2,18
1,85	2,09	2,21
1,88	2,06	2,28
1,75	2,18	2,14
1,83	2,10	2,23

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
1,43	1,70	1,75
1,42	1,75	1,67
1,40	1,67	1,91
1,27	1,61	1,62
1,51	1,89	1,73
1,44	1,80	1,69
1,52	1,83	1,85
1,37	1,50	1,73
1,40	1,74	1,78
1,42	1,48	1,81

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
1,36	1,65	1,71
1,46	1,66	1,76
1,29	1,63	1,89
1,49	1,54	1,67
1,41	1,58	1,57
1,37	1,67	1,84
1,28	1,76	1,72
1,33	1,85	1,74
1,41	1,68	1,69
1,29	1,70	1,63

Wirkungsgrade des Holzpfeils

<u>Langbogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang Sehne</u>
0,041	0,052	0,054
0,038	0,048	0,053
0,046	0,047	0,056
0,041	0,053	0,055
0,047	0,048	0,053
0,047	0,053	0,052
0,045	0,049	0,055
0,046	0,047	0,053
0,047	0,052	0,055
0,044	0,053	0,057
D=0,044	D=0,050	D=0,055

<u>Langbogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 10-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 10-Strang Sehne</u>
0,045	0,055	0,058
0,050	0,056	0,059
0,044	0,054	0,058
0,046	0,054	0,059
0,049	0,057	0,056
0,047	0,056	0,057
0,048	0,055	0,058
0,049	0,054	0,059
0,046	0,057	0,056
0,048	0,055	0,058
D=0,047	D=0,055	D=0,058

<u>Langbogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 16-Strang Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 16-Strang Sehne</u>
0,037	0,044	0,046
0,037	0,046	0,044
0,036	0,043	0,050
0,033	0,042	0,042
0,039	0,049	0,045
0,038	0,047	0,044
0,040	0,048	0,048
0,036	0,039	0,045
0,036	0,045	0,046
0,037	0,038	0,047
D=0,037	D=0,044	D=0,046

<u>Langbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Recurvebogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>	<u>Reiterbogen mit 12-Strang gespleißter Sehne</u>
0,036	0,043	0,045
0,038	0,043	0,046
0,034	0,043	0,049
0,039	0,040	0,044
0,037	0,041	0,041
0,036	0,044	0,048
0,033	0,046	0,045
0,035	0,048	0,045
0,037	0,044	0,044
0,034	0,044	0,042
D=0,036	D=0,044	D=0,045

11.3. Quellen

1

Christian Kaden (4. Mai 2012): *Yabusame (Bogenschießen vom Pferd aus) am Shimo-gamo-Schrein*, <https://japan-kyoto.de/yabusame-bogenschiessen-vom-pferd-aus-am-shi-mogamo-schrein-03-05/> (Abgerufen am 22.01.2022)

Andyking (15. Januar 2022): *Yabusame*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Yabusame> (Abgerufen am 22.01.2022)

2

Annette Hammerschmidt (22. Juli 2019): *Pfeil und Bogen und die innere Ruhe*, <https://www.br.de/br-fernsehen/sendungen/gesundheit/bogenschiessen-burnout-achtsamkeit100.html> (Abgerufen am 22.01.2022)

Kuhn Fachverlag (30. Juni 2017): *Warum das Bogenschießen so gesund ist*, <https://www.bogensport.de/warum-das-bogenschiessen-so-gesund-ist/> (Abgerufen am 22.01.2022)

3

Youksakka (o. J.): *7 gute Gründe, warum man Bogenschießen sollte...*, <https://youksakka.de/7-gute-gruende-warum-man-bogenschiessen-sollte/> (Abgerufen am 22.01.2022)

Mehlhatt, Bert: Richtig schießen mit dem Recurvebogen. Von Anfang an – mit vielen praktischen Trainingstipps. BoD 06.09.2017

4

ntv (13. Oktober 2021): *Tote und Verletzte bei Amoklauf in Norwegen*, <https://www.n-tv.de/panorama/Tote-und-Verletzte-bei-Amoklauf-in-Norwegen-article22864169.html> (Abgerufen am 22.01.2022)

5

Paus, Hans J.: Physik in Experimenten und Beispielen, Würzburg: Carl Hanser Verlag, 1995, S. 43.

6

Daniel Goll(15. Juli 2020): *Die Auszugslänge bestimmen*, <https://www.bogenladen-collenberg.de/auszugslaenge-bestimmen/> (Abgerufen am 20.09.2022)

7

Moritz Knöfel (o. J.): *Der Auszug im Bogensport*, <https://pfeil-und-bogen-kaufen.de/auszug-rechner-auszug-berechnen/> (Abgerufen am 20.09.2022)

8

Bogensportwelt (o. J.): *Compoundbögen*, https://www.bogensportwelt.de/compound-boegen?msclkid=426d8a8baf091550d0a8e9bbac6993e4&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=DE%20%7C%20Compoundbogen%20%7C%20eCPC&utm_term=Compoundbogen&utm_content=Compoundbogen (Abgerufen am 20.09.2022)

9

Peter Berhorst (o. J.): *Der Bogen und seine Geschichte*, <https://youksakka.de/der-bogen-und-seine-geschichte/> (Abgerufen am 25.06.2022)

LS (13. September 2022): *Der Langbogen*, <https://de.wikipedia.org/wiki/Langbogen> (Abgerufen am 25.06.2022)

Patrick Waltisberg (o. J.): *Bogenarten*, <https://www.bogenbau-freiamt.info/bogenarten-1> (Abgerufen am 25.06.2022)

Michael Herrmann (o. J.): *Der englische Langbogen – eine kriegsentscheidende Waffe*, <https://libellius.de/artikel/englische-langbogen-6455.html> (Abgerufen am 25.06.2022)

10

DSB Bogensport (o. J.): *Olympische Recurvebogen*, <https://www.dsb.de/bogensport/disziplinen/recurvebogen> (Abgerufen am 25.06.2022)

Arrowforge (o. J.): *Recurvebogen*, https://www.arrowforge.de/epages/63122672.sf/de_DE/?ViewAction=View&ObjectID=46669647&PageSize=15&Page=2 (Abgerufen am 25.06.2022)

11

NextlevelArchery (o. J.): *Reiterbogen und Tipps zum Kauf*, <https://nextlevelarchery.de/reiterbogen-kaufen/#:~:text=Herkunft%20und%20Geschichte,Ungarn%20nutzen%20Varianten%20des%20Reiterbogen.> (Abgerufen am 25.06.2022)

15

Arcovienna (o. J.): *Die Wahl der Pfeile*, <https://www.arco-vienna.at/die-wahl-der-pfeile.html> (Abgerufen am 10.09.2022)

17

Bogensportbeier (o. J.): *Strongbows / Rattanbögen – made BY BEIER GERMANY*, <https://www.bogensport-beier.de/boegen-sets/rattanboegen/> (Abgerufen am 29.09.2022)

18

Bogensportbeier (o. J.): *Die Verbindung von Langbogen und Recurvebogen*, <https://www.bogensport-beier.de/boegen-sets/hybridboegen/> (Abgerufen am 29.09.2022)

19

Martina Berg (16. Mai 2019): *Bogensehnen – Unterschiede zwischen Endlosen und Flämischen Sehnen*, <https://blog.bogensportdeutschland.de/bogensehnen-unterschiede/> (Abgerufen am 29.09.2022)

20

Christopher McFadden (24. Mai 2017): *Der interessante Grund, warum Bögen durch Waffen ersetzt wurden*, <https://www.wissenschaft-x.com/reason-bows-were-replaced-with-guns> (Abgerufen am 29.09.2022)

JosephusRegulus (04. Juli 2005): *Muskete versus Langbogen*, <https://www.singames.com/forum/archive/index.php/t-7571.html#:~:text=Die%20Musketen%20waren%20den%20B%C3%B6gen,noch%20als%20schweren%20Kn%C3%BCppel%20einsetzen.> (Abgerufen am 29.09.2022)

21

Phillip Strauß (9. Oktober 2017): *Was sind Musketenkugeln*, <https://metalldetektorenvergleich.de/was-sind-musketenkugeln/> (Abgerufen am 20.09.2022)