„Alterung einer Bogensehne“

Studienarbeit – T3200

Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Friedrichshafen

von

Luca Wagner

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Projektzeitplan

Abb. 2: Frau mit traditionellem Langbogen

Abb. 3: Bestandteile eines Bogens

Abb. 4: Klassischer europäischer Langbogen

Abb. 5: Compoundbogen mit markanten Cams (Rollen) an beiden Wurfarmen

Abb. 6: Zugmaschine an der DHBW Friedrichshafen

Abb. 7: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Spectra

Abb. 8: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Dacron

Abb. 9: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Spectra

Abb. 10: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Dacron

Abb. 11: Grafik Kraftverteilung schussbelastete Spectrasehne

Abb. 12: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Dacrongarn

Abb. 13: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Spectragarn

Abb. 14: Tabelle mit allen Werten in der Übersicht

Abb. 15: Referenzsehne Dacron

Abb. 16: Referenzsehne Spectra

Abb. 17: Schussbelastete Dacronsehne

Abb. 18: Schussbelastete Spectrasehne

Abb. 19: Witterungsbelasteter Dacrongarn

Abb. 20: Witterungsbelasteter Spectragarn

Abb. 21: Zugkraftverlust aller getesteter Sehnen und Garne in %

Inhalt

1 Einleitung 6

1.1 Hintergrund 6

1.2 Ziele 7

1.3 Zeitplan 8

2 Theoretische und praktische Grundlagen 9

2.1 Geschichtlicher Hintergrund 9

2.2 Funktionsweise 11

2.3 Bogenklassen 12

2.4 Bogensehne 15

2.4.1 Funktionsweise 15

2.4.2 Technische Anforderungen 15

2.4.3 Materialien 16

3 Methodik 18

3.1 Aufbau 18

3.2 Datenerhebung 19

3.3 Forschungsmethode 22

3.4 Gütekriterien 22

3.5 Abgrenzung 22

4 Durchführung und Ergebnisse 23

4.1 Materialien 23

4.2 Testumgebung 24

4.3 Vorbereitungen 25

5 Umsetzung und Erkenntnisse 26

5.1 Versuchsaufbau 26

5.2 Umsetzung 28

5.3 Ergebnisse 28

5.3.1 Allgemeines 28

5.3.2 Zugversuch Referenzsehne Spectra 29

5.3.3 Zugversuch Referenzsehne Dacron 30

5.3.4 Zugversuch Referenz Spectragarn 30

5.3.5 Zugversuch Referenz Dacrongarn 31
5.3.6 Zugversuch schussbelastete Spectrasehne 31
5.3.7 Zugversuch schussbelastete Dacronsehne 32
5.3.8 Zugversuch witterungsbelasteter Dacrongarn 32
5.3.9 Zugversuch witterungsbelasteter Spectragarn 32
5.3.10 Werte im Überblick 33
5.4 Beurteilung Aussehen 34
5.4.1 Referenzsehnen 34
5.4.2 Schussbelastete Sehnen 35
5.4.3 Witterungsbelasteter Garn 36
6 Erkenntnisse 37
6.1 Interpretation 37
6.1.1 Spectrasehne 37
6.1.2 Dacronsehne 39
6.1.3 Spectragarn 40
6.1.4 Dacrongarn 41
6.2 Präventionsmaßnahmen 42
7 Fazit 44
8 Quellen 46
8.1 Literaturquellen 46
8.2 Internetquellen 46
8.3 Bildquellen 46

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Seit mehr als 14.000 Jahren nutzen Menschen Pfeil und Bogen. Anfangs um ihre Lebensgrundlage durch die Jagd zu verdienen, später immer mehr in kriegerischen Handlungen. Mit der Entwicklung des sportlichen Bogenschießens wandelte sich auch der Jagdbogen vor allem mit neuen Sehnenmaterialien und Techniken immer mehr zu einem Sportbogen um. Heute ist Bogenschießen eine professionelle Sportart, die seit 1971 auch in den olympischen Spielen ausgetragen wird (vgl. 3).

Hintergrund dieser Studienarbeit ist die Aussage der Profibogenschützin und 3-facher Weltmeisterin im Langbogen mit Holzpfeilen, Anja Fischer, welche aus ihrer 30-jährigen Erfahrung im Umgang mit verschiedensten Bögen behauptet, die Bogensehne verändere sich über ihre Lebensdauer. Vor allem beim Schießen soll dies deutlich spürbar sein. Es soll bei den ersten 50 Schüssen und nach langer Nutzung das Schießverhalten deutlich von einem „eingeschossenen“ Bogen abweichen, was hauptsächlich an der Bogensehne selbst läge.

Im Hobbysport hat diese Veränderung höchstwahrscheinlich keine großen Auswirkungen, jedoch bei professionellen Wettkämpfen, insbesondere bei den olympischen Spielen, kann eine benutze Bogensehne das Schussergebnis negativ beeinflussen.

„Meiner Erfahrung nach sind hohe Temperaturen ein wichtiger Faktor, (…) die Wurfleistung lässt stark nach, hat mich mal fast eine Europameisterschaft gekostet.“

1.2 Ziele

Trotz des häufigen Auftretens des veränderten Schussverhaltens eines Bogens ist dieses Phänomen noch nicht wissenschaftlich untersucht worden, sondern nur von Profibogenschützen bei Schuss zu spüren gewesen. Ziel der Arbeit ist es, die Veränderung der Bogensehne über ihre Lebenszeit zu analysieren und ihr Schussverhalten dabei zu untersuchen. Dabei werden verschiedene Methoden angewandt, um eine beschleunigte Alterung einer Bogensehne zu simulieren.

Die Studienarbeit soll Bogenschützen ermöglichen, ihre bestmögliche Leistung im Wettkampf oder beim normalen Schießen zu erbringen, da der Erfolg des Schießens im hohen Maße von der Bogensehne abhängt. Mit dem Verständnis, warum und wie eine Bogensehne altert, können die nötigen Maßnahmen getroffen werden, um ein gleichmäßiges und optimales Schussverhalten zu gewährleisten.

Als erstes werden die theoretischen und praktischen Grundlagen eines Bogens und der Bogensehne erläutert, um ein Grundverständnis zu vermitteln, was im späteren Verlauf der Studienarbeit von Nöten ist. Danach wird eine Methodik erstellt, um den Lebenszyklus und verschiedene Belastungen der Bogensehne zu simulieren, um ein möglichst realitätsnahes Bild einer genutzten Bogensehne zu erreichen. Bei der Durchführung wird die Methode in der Realität angewendet und die Erkenntnisse der Simulation ausgewertet. Als letztes wird im Fazit das Ergebnis der Alterung der Bogensehne dargestellt.

1.3 Zeitplan

Projekte scheitern oft nicht an der Schwierigkeit des durchzuführenden Themas, sondern wegen schlechter Planung. Professionelle und vorrausschauende Planung im Projektmanagement trägt erheblich zum Erfolg des Vorhabens bei. Der entscheidende Faktor für eigentlich jedes Projekt ist die Zeit. Ein realistischer Projektzeitplan sorgt für Planungssicherheit und hilft dabei, diese Zeit zu strukturieren. Auch liefert er einen Überblick über die verschiedenen Meilensteine des Projekts.

So wurden als erstes die nötigen Teilziele definiert, die in der Spalte „Aufgabe“ dargestellt sind. Ein Teilziel bildet eine Phase des Projekts ab. Wenn ein Projekt in viele Teilziele unterteilt ist, fällt es deutlich leichter, die Zeit für ein Teilziel als für die ganze Projektdauer zu schätzen. Addiert man die festgelegten Zeiten der Phasen, erhält man die geplante Gesamtdauer des Projekts.

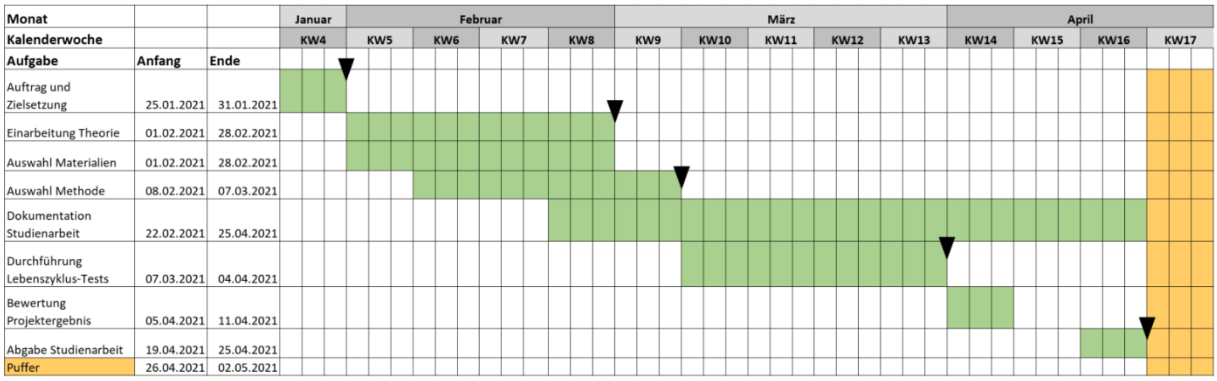

Abb. 1 Projektzeitplan

Die schwarzen Pfeile im Projektzeitplan symbolisieren die Meilensteine. Meilensteine sind wichtige Punkte im Projektverlauf, nur wenn diese abgeschlossen werden, kann das Projekt erfolgreich beendet werden. Ein weiterer Vorteil der Meilensteine ist die qualitätssichernde Wirkung, da bei Abschluss eines Meilensteins kontrolliert wird, ob die erarbeiteten Ergebnisse auch den Vorgaben entsprechen.

Ein realistischer Zeitplan sollte zeitliche Reserven für das Projekt beinhalten. Dabei sollte für die Phasen einen Aufschlag von 10% eingeplant werden.

2 Theoretische und praktische Grundlagen

2.1 Geschichtlicher Hintergrund

Den genauen Zeitpunkt, wann Pfeil und Bogen erfunden wurde, lässt sich heute nicht mehr feststellen. Von Funden aber kann man vermuten, dass Steinspitzen vor über 64.000 Jahren in Südafrika bereits zum Einsatz gekommen sind. In Europa sind Funde von Feuersteinspitzen zwischen 18.000 bis 22.000 Jahre datiert. Jedoch entwickelten die Menschen nicht von einem Tag auf den anderen Pfeil und Bogen. Die Entwicklung verlief über Stein- und Wurfkeulen, zu Speeren und Speerschleudern bis hin zum Bogen, wie wir in heute kennen (vgl. 3).

Mit dem Wandel der Zeit wurden Pfeil und Bogen so beliebt, dass sie in fast allen Kulturen wiedergefunden werden konnten. Aus heutiger Sicht nimmt man an, dass Bogenschützen ein hohes Ansehen in der Gesellschaft genossen. Man vermutet, dass das gewisses Geschick im Umgang mit Pfeil und Bogen zu diesem Ansehen deutlich beigetragen hat (vgl. 3).

Mit einer Etablierung der Bögen kam auch der Ruf nach ständiger Verbesserung. Die Westasiaten entwickelten den ersten Winkelbogen, die Skythen überarbeiteten den klassischen Bogen mit dem Ergebnis eines kleinen, sehr handlichen Recurvebogens. Das Hauptmerkmal eines Recurvebogen ist seine zurückgebogene Form der Wurfarme, die im entspannten Zustand vom Schützen wegweisen. Pfeilspitzen wurden mit Bronze verstärkt, was die Flugbahn verbesserte und die Splitteranfälligkeit reduzierte. Die Hunnen wiederum schmälten ihre Pfeilspitzen und verstärkten ihre Bögen an Griffstücken und Wurfarmen, wodurch sie die ersten panzerbrechenden Bögen hervorbrachten (vgl. 4).

In der Epoche des Mittelalters wurde Europa Schauplatz zahlreicher und langanhaltender Kriege, die Millionen von Menschen das Leben kosteten. Mit dem Ausbruch des hundertjährigen Krieges 1337 entstand auch die bisher größte Pfeil und Bogen-Industrie. Vermehrt wurden Langbögen als reine Distanzwaffen eingesetzt, welche bei den Gegnern erhebliche Verluste verursachten (vgl. 3). Ein Beispiel ist die Schlacht von Crecy am 26. August 1346, bei der englische Langbogenschützen das zahlenmäßig überlegene Heer der Franzosen in die Flucht schlagen konnte (vgl. 8).

Mit der Erfindung von Schusswaffen im 16. Jahrhundert wurde der Bogen aus dem militärischen Einsatz zurückgezogen, da er kaum noch mit der Feuerkraft und Reichweite von Musketen mithalten konnte. Jedoch konnte sich das Bogenschießen, vorwiegend in England, als Sportart etablieren. Mit Beginn des 20. Jahrhundert wurde der Bogensport auch weltweit immer beliebter. Ab 1900 wurde Bogenschießen eine olympische Sportart, 1920 wieder abgeschafft und 1972 bis heute erneut eingeführt (vgl. 3). In Deutschland gibt es ungefähr 50.000 aktive Bogenschützen (vgl. 1).

Abb. 2: Frau mit traditionellem Langbogen

2.2 Funktionsweise

Ein Bogen besteht zum einen aus einem elastischen, stabähnlichen Gegenstand, dem eigentlichen Bogen, und einer Schnur, der sogenannten Bogensehne. Die beiden Enden der Sehne werden an den Enden des Bogens befestigt. Materialien für die Bögen variieren von Holz, über Horn bis hin zu glasfaserverstärkten oder kohlefaserverstärkten Kunstoffkomposita (vgl. 7).

Die Bestandteile des Bogens sind meist ein starres Mittelteil, was als Griff verwendet wird, zwei flexible Wurfarme und die abschließenden Bogenenden, auch Tips genannt. Der eigentliche Wurf eines Bogens ist nur durch die Bogensehne möglich. Die Bogensehne wird an den Wurfarmen eingehängt und gespannt. Durch das Spannen der Sehne werden die beiden Wurfarme gekrümmt. Diesen Zustand nennt man Vorspannung. Wird ein Pfeil in der Bogensehne eingelegt und die Sehne ausgezogen, speichern die Wurfarme den Auszug als kinetische Energie. Wird die Sehne ruckartig losgelassen, sorgt die kinetische Energie für die Beschleunigung der Bogensehne und damit auch des Pfeils. Sollte ein Bogen jemals ohne Gegengewicht (Pfeil) gelöst werden, besteht hohe Verletzungsgefahr.

Die gespeicherte Energie entlädt sich augenblicklich, sollte kein Gegengewicht vorhanden sein, wieder über die Wurfarme und den Bogenkörper, was zu schwerwiegenden Beschädigungen bis hin zum explosionsartigen Zerbersten des Bogens führen kann (vgl. 7).

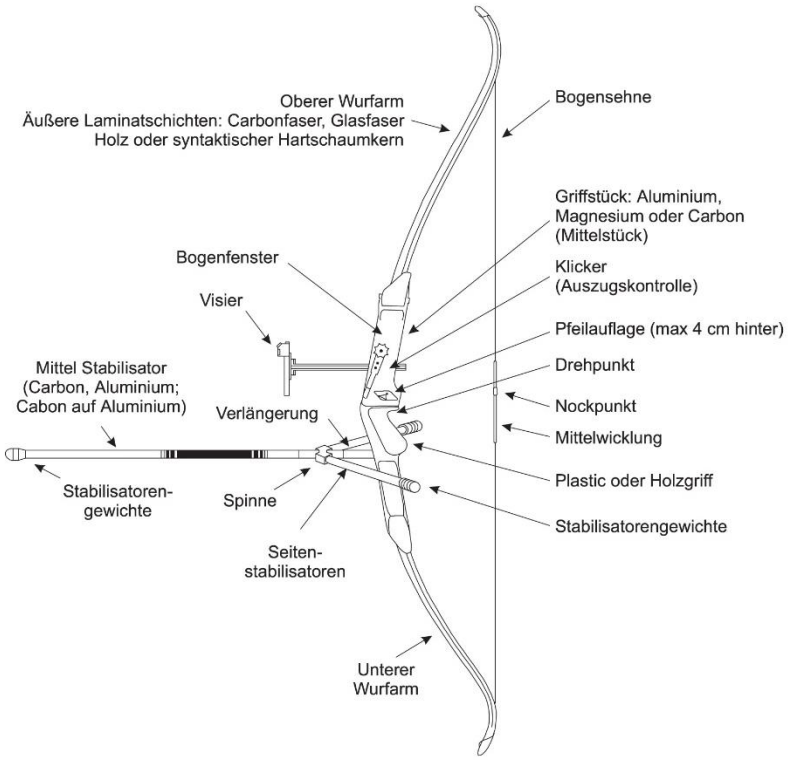

Abb. 3: Bestandteile eines Bogens

2.3 Bogenklassen

Weltweit gibt es über 1000 verschiedene Varianten von Bögen. Die drei bekanntesten und meist genutzten Bögen sind der traditionelle Bogen, der Recurvebogen und der Compoundbogen.

Traditionelle Bögen können auch wieder unterteilt werden. Der bekannteste traditionelle Bogen ist der Langbogen. Auffällige Kennzeichen des Langbogens ist sein Profil, was an den Buchstabe D erinnert und traditionell aus einem Holzstammstück gefertigt wird. Ein weiterer Langbogen ist der Flachbogen, der sich durch seinen breiten aber flachen Wurfarmquerschnitt auszeichnet. Für den Bau wird oft Holz von Hickory oder Robinie verwendet (vgl. 4).

Die Weiterentwicklung des Langbogens ist der Recurvebogen. Der Name Recurve spielt hier auf die zurückgebogenen Wurfarme an, die das Hauptmerkmal des im weiteren Verlauf erläuterten Reflexbogens sind. Der Begriff Recurve und Reflex werden als Synonym verwendet. Im Gegensatz zu den traditionellen Bögen speichert der Reflexbogen deutlich mehr Energie und hat daher einen höheren Wirkungsgrad.

Abb. 4: Klassischer europäischer Recurvebogen

Anders als beim Langbogen schwingt die Sehne nichtmehr frei, sondern liegt auf den zurückgebogenen Wurfarmen auf und hat zur Folge, dass der Handschock nach dem Wurf gedämpft wird. Bei der Herstellung von Reflexbögen wird fast ausschließlich die Kompositbauweise angewandt. Das bedeutet, für den Bau werden mehr als zwei verschiedene Materialien verwendet, um den Wirkungsgrad und die Lebensdauer des Bogens zu erhöhen. Dabei wird für den Korpus Horn und Sehnenbelag verwendet, der Kern besteht, um Gewicht zu sparen, aus Bambus oder Holz. Im internationalen Bogensport und in den olympischen Spielen wird der olympische Recurvebogen mit Visier und Stabilisatoren verwendet (vgl. 4).

Der letzte Bogen der drei Bogenvarianten ist der Compoundbogen. Der Aufbau ähnelt dem Reflexbogen mit der Ausnahme der Bogensehne. Diese ist nicht wie üblich an den beiden Wurfarmen befestigt, sondern wird über sogenannte Cams geführt. Die Cams sind an den Enden der beiden Wurfarme angebracht, sind exzentrisch angeordnet und verfügen je nach Modell über verschiedene Durchmesser. Wird der Bogen gespannt, wirken die Cams wie ein Hebel. Vorteil davon ist, dass beim Spannen ein nichtlinearer Kraftaufwand entsteht, welcher erst ansteigt, dann aber plötzlich abnimmt. Hier spricht man vom sogenannten „Let-Off-Effekt“. Bei einem vollen Auszug des Bogens hält der Schütze nur noch 20-40% der ursprünglichen Zugkraft. Dies ermöglicht ihm, trotz hohem Zuggewicht, den Bogen deutlich ruhiger zu halten. Compoundbögen finden hauptsächlich Verwendung im professionellen Bogensport und in der Jagd, da sie sich durch hohe Pfeilgeschwindigkeiten und eine ruhigere Handhabung auszeichnen (vgl. 4)

Abb. 5: Compoundbogen mit markanten Cams (Rollen) an beiden Wurfarmen

2.4 Bogensehne

2.4.1 Funktionsweise

Die Bogensehne wird an den beiden Wurfarmen des Bogens eingehängt und sorgt dabei für die Vorspannung. Wird der Bogen ausgezogen, krümmen sich die Wurfarme und speichern Verformungsenergie. Beim Lösen des Pfeils über die Bogensehne wird die Verformungsenergie in kinetische Energie des Pfeils übertragen. Bei der Überschreitung des Ruhezustands der Sehne löst sich der Pfeil von der Sehne. Nach dem Wurf vibriert die Bogensehne und versetzt damit auch die Wurfarme in Schwingungen, da Bogen und Sehne einen geschlossenen Schwingkreis bilden (vgl. 7)

2.4.2 Technische Anforderungen

Eine besondere Rolle bei der Energieabgabe des Bogens an den Pfeil spielt das Gewicht. Umso weniger Gewicht der Sehne, desto dünner wird die Sehne. Dünnere Sehnen erzeugen einen geringeren Luftwiederstand, was die Fluggeschwindigkeit und die Stabilität des Pfeils erhöht (vgl. 6).

Des Weiteren sollte eine Bogensehne eine geringe Dehnung aufweisen. Da die Wurfarme maßgeblich zur Kraftübertragung und zur Beschleunigung des Geschosses beitragen, wäre eine dehnbare Sehne eher von Nachteil. Dies hat den Grund, da umso elastischer die Sehne ist, desto weniger werden die Wurfarme gekrümmt. Ein Bogen hat nämlich einen deutlich höheren Wirkungsgrad als eine elastische Sehne (vgl. 6).

Die letzte Anforderung, die eine Bogensehne aufweisen muss, ist eine hohe Reißfestigkeit. Oft wirken bei vollen Auszug mehr als 300 Newton auf die Bogensehne, welche die Bogensehne bis zu 5000 Mal aushalten muss (vgl. 6)

2.4.3 Materialien

In Bezug auf die Materialien gibt es bei der Bogensehne eine sehr große Variation, die sich in drei Kategorien unterteilen lässt.

Vor der Erfindung der Kunststofffasern wurde praktisch alles zu Bogensehnen verarbeitet. Hanf, Leinen, Brennnesseln, Baumwolle, Seide, Darm, Tiersehnen, Holzfasern und alles was sonst irgendwie zu einem Garn versponnen werden konnte.

Heutzutage werden Sehnen aus Naturfasern eher selten eingesetzt, bevorzugt aber von traditionellen Bogenschützen. Grund für die seltene Nutzung sind die Vorteile einer Kunststoffsehne, die in allen Aspekten der Natursehne überliegt.

Die zweite Kategorie gilt dem Material Dacron. Berühmte Hersteller sind Brownell mit Dacron B50 und Bearpaw mit BCY B55. Dacron findet Verwendung als Nahtmaterial in der Medizin oder als Garn für Schiffssegel. Eine Sehne aus Dacron ist billig in der Herstellung, besonders abriebfest und deutlich bruchfester als eine Natursehne. Besonders bei Anfänger ist diese Sehne beliebt, das sie aufgrund ihrer geringen aber dennoch vorhandenen Elastizität auf allen Bogenarten eingesetzt werden kann. Dacron wird seit den 1950er Jahren unverändert hergestellt (vgl. 6).

Eher für professionelle Bogenschützen geeignet sind die sogenannten Hochleistungsgarne. Diese Sehnen haben spezielle Eigenschaften wie eine geringere Elastizität oder ein Gewichtsersparnis bei gleichbleibender Bruchfestigkeit. Nachteil dafür ist der deutlich höhere Sehnenverschleiß, der sich bei fortschreitender Nutzung verstärkt.

Es ist auch möglich, das Garn aus dem entsprechenden Material zu erwerben, welches aber viel zu dünn ist, um es als Bogensehne zu benutzen. Man legt also mehrere Stränge des Garns nebeneinander (meistens 8-20 Stränge), welche über zwei Möglichkeiten zu einer Bogensehne verknüpft werden können (vgl. 6).

Mit der Methode der Endlossehne wird mit dem Garn ein zusammenhängender langer Strang im Kreis gelegt, bis man die gewünschte Dicke erreicht hat. Damit die Stränge beim Schuss nicht auffächern, wird die Sehne 5 -10 Mal eingedreht. Umso öfter die Sehne eingedreht wird, desto elastischer und kürzer wird sie, was wiederum das Schussverhalten negativ beeinflusst.

Die andere und klassische Möglichkeit ist die Verknüpfung als gespleißte Sehne. Die gewollte Anzahl an Garnstücken wird abgehängt und parallel zueinander gelegt. Die Sehne wird dann durch mehrere Windungen verdreht, um sie anschließend zu verspleißen. Die Sehne erhält dadurch einen gewissen Drall, was ihr eine gewisse Elastizität verpasst. Dadurch kann eine gespleißte Sehne auf jedem Bogen geschossen werden (vgl. 7).

3 Methodik

3.1 Aufbau

Um die Alterung der Bogensehne wissenschaftlich zu untersuchen, ist ein klar strukturiertes Vorgehen notwendig. Dieses Vorgehen, bei dem Materialien oder Bauteile nach ihrer Alterung charakterisiert werden, sollte unabhängig vom Material immer das gleiche sein. Der Ablauf des Tests ist in fünf Schritte unterteilt, die auch bei der Untersuchung der Alterung der Bogensehne angewandt werden (vgl. Buch).

Als erstes muss die Testumgebung festgelegt werden, in der die Bogensehne auf ihre Alterung überprüft werden soll. Hierzu zählt Temperatur, Zugkraft, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Radioaktivität und vieles mehr. Auf die Testumgebung der Bogensehne wird im weiteren Verlauf eingegangen.

Zweitens ist es notwendig, vermutete Schwachstellen und mögliche Fehler, die während der beschleunigten Alterungstests auftreten, im Vorhinein zu identifizieren.

Weiter hinaus muss eine Methode für den beschleunigten Alterungstest festgelegt werden. Hierbei ist es wichtig, die Alterung so realitätsnah wie möglich zu simulieren, sodass die Ergebnisse auch eine gewisse Validität aufweisen.

Nachdem die Methode festgelegt und dokumentiert ist, muss der Alterungstest durchgeführt werden, um die Ergebnisse zu analysieren und die Alterung verschiedener Komponenten zu verstehen.

Als letztes ist es notwendig, die Annahmen, die vor der Durchführung der Tests festgelegt wurden, zu beweisen oder zu verwerfen. Dieser Schritt stellt das Projektergebnis dar.

3.2 Datenerhebung

Eine Bogensehne wird bei ihrem Gebrauch, sei es als Sport oder im militärischen Sinne, bei allen Witterungsbedingungen eingesetzt. Dadurch ist die Sehne starker Hitze und Kälte, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Dreck, aber auch tägliche Belastungen wie der normale Gebrauch des Bogens aufgrund eines Schusses, ausgesetzt. Trotzdem nutzen Bogenschützen ihren Bogen bei diesen suboptimalen Bedingungen, erwarten aber, dass trotz diesen Umwelteinflüssen der Bogen und die Bogensehne optimal funktionieren.

Diesen Belastungen kontinuierlich ausgesetzt, wird auch eine Bogensehne irgendwann Beschädigungen oder Anzeichen von „wear-and-tear“ aufweisen. Vermutet wird eine deutliche optische Veränderung der Bogensehne, hauptsächlich im Bereich des Reißens einzelner Garne. Auch vermutet wird die Dehnung der Bogensehne, die mit zunehmendem Gebrauch an Elastizität und Ausdehnung dazugewinnt. Weiter hinaus gibt es Aussagen von Profibogenschützen, bei der sich der Ton der Bogensehne mit zunehmenden Alter verändert.

Danach musste eine geeignete Methode gefunden werden, um eine beschleunigte Alterung einer Bogensehne realitätsnah abzubilden. Da bisher noch keine solchen Untersuchungen durchgeführt oder dokumentiert worden sind, konnte nicht auf eine geeignete und zuvor getestete Methode zurückgegriffen werden. Es musste also ein komplett neues und eigenständig entwickeltes Konzept auf die Beine gestellt werden. Hierfür wurde als Methode ein Experiment festgelegt.

Die Idee war, eine Art von Lebenszyklusexperimenten durchzuführen. Es wird erst ein Material für einen solchen Test ausgewählt. Optimal dafür ist eine Sehne aus Naturfasern, da diese von der Witterung besonders betroffen ist. Mehrere Sehnen werden für einen Monat lang Temperaturen von -15 Grad bis +15 Grad Celsius, Schnee, Regen, Wind, Sonneneinstrahlung und Verschmutzung ausgesetzt. Referenzsehnen aus dem gleichen Material werden für einen Monat in einem trockenen Raum mit 21 Grad Celsius Raumtemperatur und keiner direkten Sonneneinstrahlung gelagert. Die Sehnen werden dann einem Belastungstest unterzogen. Als Kriterien zur Bewertung dient die Dehnung der Sehne. Eine Zugmaschine simuliert einen Auszug der Sehne. Die Sehne wird so weit ausgezogen, bis die Bogensehne reißt. An der Zugkraft der Zugmaschine wird die Dehnung der Sehne gemessen. Ein weiteres Kriterium ist der Ton einer gespannten Sehne, welcher zwar nur subjektiv verglichen werden kann aber durch die Hilfe der mehrmaligen Weltmeisterin in Langbogenschießen Anja Fischer identifiziert werden kann. Als letztes Kriterium wird das Aussehen der Bogensehne bewertet. Hierbei wird besonders auf das Ausfransen, im Fachjargon „fasern“ genannt, der Garne geachtet. Hintergrund und Inspiration für den Witterungstest ist die Schlacht von Crecy, bei der die Franzosen aufgrund ihrer Bogenschützen, die kaum effektiv in das Kampfgeschehen eingreifen konnten, weil ihre Bögen bei Nässe an Wirksamkeit verloren, vernichten geschlagen wurden (vgl. 8).

Das zweite Experiment zielt auf einen reinen Belastungstest ab. Hier werden Sehnen des gleichen Materials in ihrer Belastbarkeit getestet. Es werden zwei verschiedene Sehnen verwendet. Die eine Sehne wurde von einer Bogenschützin geschossen und hat ihren effektiven Gebrauchszeitraum schon überschritten, die andere Sehne ist eine ungeschossene Referenzsehne. Verglichen werden die beiden Sehnen nach den Kriterien Dehnung der Sehne, der Ton und das Aussehnen der Bogensehne (siehe oben). Der Belastungstest zielt darauf ab, eine stark abgenutzte Sehne mit einer eingeschossenen Sehne zur vergleichen und das Ausmaß des Verschleißes beurteilen zu können.

Die Zugbelastungstests werden an einer dafür vorgesehenen Maschine an der DHBW umgesetzt.

3.3 Forschungsmethode

Für die Forschung wurde die quantitative Methode gewählt. Durch die vielen Lebenszyklustests stehen viele Rohdaten zur Verfügung, welche alle sorgfältig ausgewertet werden, um aus den Daten Ergebnisse für eine Alterung der Bogensehne abzuleiten. Aufgrund des Pionierprojektes ist die Forschung als induktiv anzusehen. Durch die erhobenen und selbst gewonnenen Daten ist es möglich, eine eigene Theorie zur Alterung der Bogensehne abzuleiten.

3.4 Gütekriterien

In Bezug auf die Gütekriterien der quantitativen Forschung ist die vollständige Erfüllung zu garantieren. Die Forschung ist valide, da stets mit den gleichen Messgeräten unter fast gleichen Bedingungen (Temperaturschwankungen ± 2Grad) gemessen wird. Die Messgeräte sind nach DIN ISO genormt. Zudem wird die Reliabilität der Messgeräte bei der Untersuchung getestet. Daneben ist die Forschung objektiv, da sich die forschende Person an die Messwerte des Maßbandes hält, statt das Gewicht nach eigenem Ermessen zu bestimmen.

3.5 Abgrenzung

Bei dem Experiment werden nur die im 4.1 beschriebenen Materialien für die Belastungstests verwendet. Jegliche Bogensehnen bestehend aus anderen Materialien werden nicht in den Versuchen berücksichtigt. Des Weiteren werden die Testergebnisse nur nach den Kriterien der Dehnung, Ton und Aussehen bewertet. Vor allem der Ton und das Aussehen der Sehne (Beschädigungen, Verformungen) können sehr subjektiv erfasst werden.

4 Durchführung und Ergebnisse

4.1 Materialien

Um aussagekräftige und breitgefächerte Ergebnisse bei den Belastungstests zu garantieren, mussten die passenden Materialien für die Bogensehnen ausgewählt werden. Daher wurden zwei verschiedene Materialien für die Sehnen ausgewählt, Dacron und Spectra. Auch wurde der Test einmal mit einem reinen Sehengarn, ein anderes Mal mit einer kompletten Bogensehne durchgeführt. Natürlich werden Garn und Garn und Sehne und Sehne verglichen, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten.

Spectra besteht aus Polyethylen und wird mit den Begriff Fastflight in Verbindung gebracht. Im Gegensatz zu anderen Bogensehnen hat Spectra eine relativ geringe Dehnung und gibt daher sehr viel Energie an den Pfeil hab. Hiervon leitet sich auch der Begriff Fastflight ab. Laut Hersteller ist die Längung, also die unumkehrbare Verlängerung der Sehne, in einem sehr guten Bereich, nach 1.000 Schüssen verlängert sich die Sehne nicht mehr. Auch ist das Material Spactra für eine sehr lange Haltbarkeit bekannt. Mit der richtigen Pflege und ohne Beschädigungen hält eine Fastflight-Sehne problemlos 10.000 Schuss aus. Mit der ständigen Weiterentwicklung der Spectra-Sehnen werden die Sehnenstränge immer dünner und damit auch effektiver für das Bogenschießen. Auch die unerwünschte Verlängerung der Sehne wird immer geringer und hat bei Fastflight kaum noch Bedeutung (vgl. 6).

Dacron, oft auch unter dem Namen B50 bekannt, ist einer der leichtesten Sehnenmaterialien und zeichnet sich besonders durch eine extreme Dehnung aus. Diese Dehnung macht die Sehne optimal für den Einsatz auf Holzbögen, die die Bruchgefahr des Holzbogens nämlich deutlich verringert. Allerdings verlängert sich die Sehne auch sehr stark. Dies hat zur Folge, dass eine ständige Nachjustierung der Standhöhe notwendig wird. Die Lebensdauer von Dacronsehnen gilt als sehr hoch, wenn die Sehne ausreichend gepflegt wird und keine Beschädigungen aufweist (vgl. 6).

4.2 Testumgebung

Die Annahme, die Alterung einer Bogensehne hängt mit der Nutzung und Belastung der Sehne zusammen, ist weit verbreitet. Um die Alterung durch diese Belastung auch validieren zu können, ist eine Maschine notwendig, die in der Lage ist, die Sehne so zu belasten, dass sie reißt. Anhand des Zeitpunktes und der damit zusammenhängenden Newtonanzahl kann ein Rückschluss auf die Alterung der Bogensehnen durch verschiedene Einflüsse geschlossen werden. Eine solche Zugmaschine ist in der DHBW vorhanden, welche in der Lage ist, die Sehnen bis zu ihrer maximalen Ausziehung zu belasten und sie zum Reißen zu bringen. Nach Kontakt mit dem Laboringenieur der DHBW Herr Khamis Jakob war es möglich, die Gerätschaften der DHBW Friedrichshafen für die Versuchsreihe zu nutzen.

4.3 Vorbereitungen

Bevor mit den Versuchen begonnen werden konnte, mussten noch ein paar Vorbereitungen abgeschlossen werden. Für die Umwelttests mussten die Sehnen durch allen möglichen Witterungsbedingungen belastet werden. Dazu wurden die Sehnen, die für den Umwelttest bestimmt waren, für einen Monat lang verschiedensten Wetterlagen ausgesetzt. Von annähernd -15 Grad Celsius in der Nacht bis hin zu fast +20 Grad Celsius an manchen Tagen, Regen, Schnee, direkte Sonneneinstrahlung und Verschmutzung wurden die Sehnen extremem Belastungen ausgesetzt, um die erhöhte Lebensdauer zu simulieren.

Die Bogensehnen, die nicht für die Umwelttests verwendet wurden, sind in gewissen Abständen mit Wachs beschichtet worden. Dies hat den Hintergrund, dass vermutet wurde, dass Sehnen, die regelmäßig mit Wachs gepflegt werden, eine längere Lebensdauer haben und Alterungserscheinungen erst viel später auftreten. Somit war die Idee, die gepflegten Sehnen mit anderen Bogensehnen zu vergleichen, um einen Unterschied zwischen stark belasteten Sehnen (Witterung, etc.) und perfekt erhaltenen Sehnen (Pflege mit Wachs) zu beweisen.

5 Umsetzung und Erkenntnisse

5.1 Versuchsaufbau

Für die Untersuchung des Tons wurden alle Sehnen (Referenzsehne, schussbelastete Sehne, witterungsbelastete Sehne) zwischen zwei Punkten aufgespannt. Dies sollte eine Sehne auf einem Bogen simulieren. Ausgehend davon konnte mit einem Zupfen der Sehne der Ton beurteilt werden.

Für die Untersuchung nach dem Zustand, also das Aussehnen der Bogensehne, wird die Sehne in einem gut beleuchteten Raum untersucht.

Der Versuchsaufbau bei den Zugversuchen ist ein wenig komplizierter. Hierfür wurde die Zugmaschine der DHBW Friedrichshafen verwendet. Das Grundprinzip der Zugmaschine ist die Untersuchung der Dehnung eines zu untersuchenden Objektes bei einer Belastung von bis zu 100kN. Hierfür wird das Werkstück in die beiden Backen, oben und unten, eingespannt. Die Zugmaschine ist mit einem PC verbunden, welcher die genaue Steuerung der Zugmaschine ermöglicht. Dies wird über ein Programm auf dem PC realisiert, welches dem Benutzer ermöglicht, verschiedenste Funktion, ob ganze Zugzyklen, bestimmte Positionen und Newtonanzahlen oder Grafiken zur Auswertung der Versuche, zu nutzen und zu speichern.

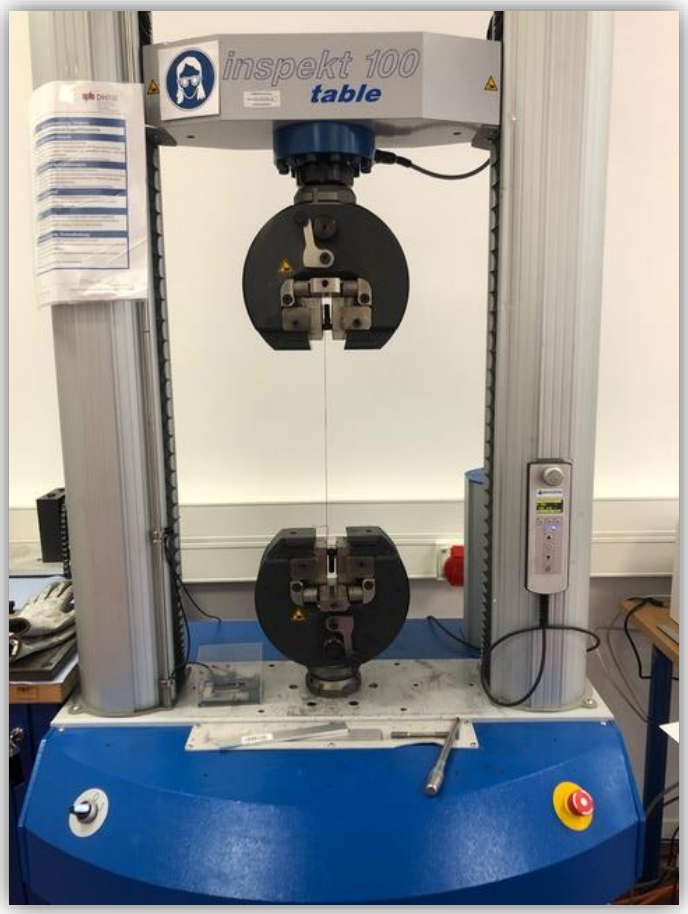

Abb. 6: Zugmaschine an der DHBW Friedrichshafen

Um die zu untersuchenden Sehnen über ihre maximale Belastungsgrenze hinaus zu strapazieren und die Kraft dabei zu messen, musste die Zugmaschine mit Befehlen gefüttert werden. So startet der Zugversuch immer auf der gleichen Höhe. Danach erhöhte die Maschine die Auslenkung und somit die Dehnung der Sehne bis zu ihrem Reißpunkt. Ist die Sehne gerissen und die Kraft fällt schlagartig auf 0N, fährt die Maschine wieder auf ihre Startposition. Eine neue Sehne kann getestet werden.

Im Hinblick auf die Materialien wurden drei Arten von Sehnen untersucht. Es wurden zwei Referenzsehnen (Spectrasehne und Dacronsehne) mit zwei schussbelastete Sehnen (Spectrasehne und Dacronsehne) getestet und verglichen. Die Sehnen wurden von Anja Fischer geschossen und wurden für den Versuch per Post zugesendet.

Für den Witterungstest in Bezug auf die Alterung wurden zwei Referenzgarne (Spectra und Dacron) mit zwei witterungsbelasteten Garne (Spectra und Dacron) getestet und verglichen.

5.2 Umsetzung

Als erstes wurden die Enden der jeweiligen Sehnen um zwei Schrauben gewickelt. Dies war notwendig, um die Sehnen in die zwei Backen der Zugmaschine einzuspannen. Würde die Sehne ohne Schrauben nur zwischen die beiden Backen befestigt werden, würde die Sehne durch die auftretende Kraft aus den Backen herausrutschen und der Zugversuch müsste abgebrochen werden. Hierbei wurde auch darauf geachtet, dass das Garn oder die Sehne beim Einspannen nicht an den Backen reibt und somit eine Verfälschung des Ergebnisses auftritt. Durch die Schrauben konnte die Sehne perfekt zwischen den Backen fixiert werden. Mit der manuellen Einstellung der Zugmaschine, die über eine Art Fernbedingung auch bedient werden kann, wurden die Sehnen leicht auf Spannung gesetzt. Danach wurden der Durchmesser und die Länge der jeweiligen Sehne in das Programm der Zugmaschine eingegeben. Nachdem diese Schritte abgeschlossen wurden, kann der Versuch starten. Dabei gehen die beiden Backen der Zugmaschine mit einer vorher festgelegten Geschwindigkeit auseinander bis die Sehne gerissen ist.

Die Daten (Newton, Auslenkung, Zeit) werden mithilfe einer Grafik, die von dem Programm der Zugmaschine selbst erstellt wird, deutlich. Anhand dieser Grafiken und Daten wird die Auswertung der Zugversuche realisiert.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Allgemeines

Die Referenzsehne ist jede zwei Wochen mit Sehnenwachs gepflegt worden und im trockenen gelagert worden. Die schussbelasteten Sehnen wurde von Anja Fischer zum Bogenschießen benutzt und weisen starkes wear and tear auf. Die witterungsbelasteten Sehnen wurden ausschließlich draußen gelagert und wurden nicht mit Wachs gepflegt. Auf der X-Achse ist der Weg, also die Auslenkung der Zugmaschine dargestellt. Die Y-Achse bildet die Kraft in Newton an, die auf die Bogensehnen wirken.

5.3.2 Zugversuch Referenzsehne Spectra

Man erkennt das bis einer Auslenkung von 15mm die Kraftverteilung relativ gleich bleibt. Das liegt daran, dass die Sehne um eine Schraube gewickelt wurde und sich diese Wickelung erst festzieht. Dieses Verhalten lässt sich bei allen Sehnen beobachten und wird deswegen nicht jedes Mal erläutert. Die Spectrasehne erreicht ihren Peak bei einer Auslenkung von 41mm und einer Kraft von 856,1N. Hierbei reißt ein Garn der ganzen Sehne, was der abrupte Absturz des Diagramms auch darstellt. Bei einer Auslenkung von 47mm bis 53mm reißen in relativ gleichen Abständen weitere Garne der ganzen Sehne, bis bei einer Auslenkung von 72mm die komplette Sehne reißt.

.

Abb. 7: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Spectra

5.3.3 Zugversuch Referenzsehne Dacron

Die Daconsehne erreicht ihren Reißpunkt, der bei 712,8N und einem Weg von 36mm liegt. An diesem Punkt reißt ein Garn der Sehne, was den Absturz der Kraft auf 240N erklärt. Trotz weiterem Reißen mehrerer Garne bleibt die Kraft bei ca. 300N, bis bei einer Auslenkung von 51mm die Kraft stark abfällt und bei einer Auslenkung von 68mm die Sehne komplett reißt.

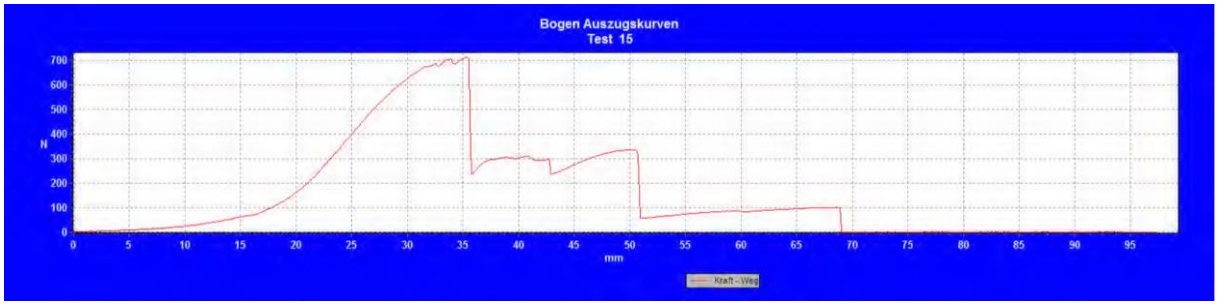

Abb. 8: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Dacron

5.3.4 Zugversuch Referenz Spectragarn

Bei dem Spectragarn ist die Ansteigekurve der Kraft nicht so gleichmäßig wie bei dem Dacrongarn, der Garn reißt aber auch erst bei einem Auszug der Zugmaschine von knapp 36,7mm. Die maximale Kraft, die das Garn ausgehalten hat, liegt bei 47,8N. Danach fällt die Kraft sehr schnell auf 0N ab

Abb. 9: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Spectra

5.3.5 Zugversuch Referenz Dacrongarn

Bei dem Zugversuch des Dacrongarns nimmt die Kraft gegenüber des Spectragarns gleichmäßiger und flacher zu. Den Reißpunkt erreicht das Garn bei einer Auslenkung von 66,1mm, die höchste Belastung fand bei 70,6N statt und liegt dabei deutlich über den Spectragarn.

Abb. 10: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Dacron

5.3.6 Zugversuch schussbelastete Spectrasehne

Man erkennt das bis einer Auslenkung von 35mm die Kraftverteilung relativ gleich bleibt. Danach steigt die Krafteinwirkung auf die Sehne bis auf 808,5N. An diesem Peak reißt ein Garn der Sehne, weshalb die Kraft auf 720N fällt. Bei einer Auslenkung von knapp unter 80mm reißen alle Garne bis auf einen, weswegen noch eine Restkraft von 200N vorhanden ist. Ab einer Auslenkung von 90mm ist die gesamte Sehne gerissen und die Kraft liegt bei 0N.

Abb. 11: Grafik Kraftverteilung schussbelastete Spectrasehne

5.3.7 Zugversuch schussbelastete Dacronsehne

Bei der Referenzsehne aus Dacron ist keine Grafik vorhanden, da die PDF-Datei bei der Überspielung beschädigt wurde und nicht geöffnet werden kann. Es ist dennoch die maximale Kraft vorhanden, bei der die Sehne gerissen ist. Die maximale Kraft liegt bei 703N.

5.3.8 Zugversuch witterungsbelasteter Dacrongarn

Die Krafteinwirkung nimmt sehr gleichmäßig und beständig zu, bis bei einer Auslenkung von 25,2mm und einer Kraft von 56N der Garn reißt. Der Abriss ist deutlich langsamer und nicht so schlagartig wie bei dem Referenzgarn.

Abb. 12: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Dacrongarn

5.3.9 Zugversuch witterungsbelasteter Spectragarn

Bei dem Spectragarn wird der Peak bei 37,5mm Auslenkung und bei 45,1N erreicht. Nach dem Riss der Sehne fällt die Kraft nicht auf 0N, da sich ein mehrere Mikrometer dünner Faden bildet, der trotz maximaler Auslenkung nicht reißt.

Abb. 13: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Spectragarn

5.3.10 Werte im Überblick

Name	Fmax[N]
Referenzsehne Dacron	712,2
Schussbelastete Sehne Dacron	703
Referenzsehne Spectra	856,1
Schussbelastete Sehne Spectra	808,5
Referenz Spectragarn	45,1
Witterungsbelasteter Spectragarn	47,8
Referenz Dacrongarn	70,6
Witterungsbelasteter Dacrongarn	56

Abb. 14: Tabelle mit allen Werten in der Übersicht

5.4 Beurteilung Aussehen

5.4.1 Referenzsehnen

Da die Sehnen nicht geschossen und gut gewachst wurden, weisen sie keinerlei Ausfransungen auf. Die Farbe ist noch satt und nicht ausgebleicht. Als Wachs wurde eine Mischung aus Bienenwachs, Baumharz und Leinöl verwendet.

Abb. 15: Referenzsehne Dacron

Abb. 16: Referenzsehne Spectra

5.4.2 Schussbelastete Sehnen

Die schussbelasteten Sehnen weisen deutliche Alterserscheinungen auf. Hauptsächlich kann beobachtet werden, dass die einzelnen Garne an manchen Stellen fast komplett aufgedreht sind und die eigentliche Sehne in diesen Bereichen kaum noch in Takt ist. Weiter hinaus ist an diesen Stellen eine leichte Ausfransung zu beobachten, was sich mit den vermuteten typischen Alterungserscheinungen abgleicht. Die Sehne wurde nach dem Schuss nichtmehr mit Wachs gepflegt.

Abb. 17: Schussbelastete Dacronsehne

Abb. 18: Schussbelastete Spectrasehne

5.4.3 Witterungsbelasteter Garn

Auffallend ist, dass durch die Witterungseinflüsse die Farben der beiden Garne in Vergleich zum Referenzgarn deutlich ausgebleichter sind. Die normalerweise mit der Hand spürbare Wachsschicht war nur noch stellenweise vorhanden. Die typische Ausfransung ist sehr stark ausgeprägt, vor allem bei dem Dacrongarn. Auch hier wurde nicht nachträglich mit Wachs gepflegt.

Abb. 19: Witterungsbelasteter Dacrongarn

Abb. 20: Witterungsbelasteter Spectragarn

6 Erkenntnisse

Vor der Durchführung der Versuche wurde vermutet, dass die Schussbelastungen die größten Auswirkungen auf die Alterung der Bogensehne haben. Besonders bei dem Aussehen wurde vermutet, dass deutliche Ausfransungen auftreten und somit eine stark benutzte Sehne sehr schnell von einer neuen Sehne zu unterscheiden ist. Nicht zu vernachlässigen sind die vermuteten Alterungserscheinungen durch das Aussetzen der Sehne von Regen, Schnee, direkter Sonneneinstrahlung und große Temparaturunterschiede. Trozt schützender Wachsschicht ist die Hypothese von einer Verschlechterung der Zugbeständigkeit aufgestellt worden. Mit den erhobenen Daten des Zugexperiments, das Untersuchen des Aussehens und die Beurteilung des Tons, kann eine Interpretation der Ergebnisse durchgeführt werden.

6.1 Interpretation

6.1.1 Spectrasehne

Die Referenzsehne aus Spectra erreicht beim Zugversuch eine maximale Belastung von 856,1N bei einer Auslenkung von 41mm. Die schussbelastete Sehne im Vergleich reißt zwar schon bei 808,5N, dafür aber erst bei einer Auslenkung von 70mm. Besonders interessant ist das Schaubild der Kraftverteilung, an dem man erkennen kann, dass die Referenzsehne deutlich abrupter reißt. Die schussbelastete Sehne bewegt sich viel länger an ihrem Belastungshöhepunkt. Sie erreicht nie wirklich einen Peak der Krafteinwirkung, die maximale Belastung zieht sich eher über einen längeren Zeitraum hin und verhält sich schwankend.

Vermutet wird, dass die Integrität der Sehne durch die vielen Schussbelastungen schon beschädigt wurde. Daher reißt die Sehne bei maximaler Krafteinwirkung nicht sofort ab, sondern wird eher über einen längeren Zeitraum im inneren so stark belastet, dass immer wieder sehr kleine Garne anreißen. Da die schussbelastete Sehne erst bei 70mm Auslenkung reißt, wird vermutet, dass die deutlich längere Auslenkung direkt mit der Integrität der Sehne zusammenhängt. Zwar reißt die

Sehne deutlich später als die Referenzsehne, es wirkt aber auch nicht mehr als 750N in diesem Zeitpunkt auf die Sehne ein. Höchstwahrscheinlich wäre die Sehne nach einer Auslenkung von 62mm, also lange vor ihrem eigentlichen Bruchpunkt, schon nichtmehr in der Lage gewesen, die normale Funktionstüchtigkeit aufrecht zu erhalten. Die Referenzsehne war bis kurz vor ihrem ersten Reißen noch komplett in Takt.

Für die innere Integrität bei der unbenutzten Sehne spricht auch das Abrissverhalten. Hier ist zu erkennen, dass trotz des ersten Risses eines Garns die Sehne im Ganzen noch funktionsfähig ist. Veranschaulicht wird dies an der Grafik der Kraftverteilung, an dem zu erkennen ist, das nach dem ersten Riss bei einer Auslenkung von 41mm die Kraft zwar rapide abfällt, dann aber wieder auf fast 600N steigt. Dieses Verhalten wiederholt sich, bis alle Garne gerissen sind.

Auch bei dem Vergleich des Aussehens ist zu erkennen, dass bei der belasteten Spectrasehne die vermuteten Alterserscheinungen wie Ausfransen auftreten. Auch sind an manchen Stellen aufgewickelte Garne zu sehen, was die vorher aufgestellte Hypothese unterstützt.

Das Klangbild der Sehnen konnte nur subjektiv beurteilt werden, da der Klangunterschied mit einem Dezibel-Messer kaum aufzuzeichnen war. Trotzdem kann auf die Erfahrungswerte von Frau Fischer zurückgegriffen werden. Dabei wurden die zwei Sehnen einer Belastung von 30N ausgesetzt. Danach wurden mit dem Finger die Sehnen gezupft, um einen Ton zu erzeugen. Auffallend war der ein deutlich dumpfer, nach der Beschreibung von Frau Fischer „weicher“ Klang der Referenzsehne. Bei der geschossenen Sehne ist der Klang merklich höher, der Ton erinnert fast an ein Instrument.

Zusammenfassend kann behauptet werden, dass die Spectrasehne in Bezug auf die Hypothese der Alterung alle Behauptungen bestätigt hat. Sie reißt deutlich früher als eine unbenutzte Sehne, das Kraftbild zeigt eine deutliche Veränderung gegenüber der Referenzsehne, das Aussehen spricht für eine ältere Sehne und das Klangbild gleicht sich mit den Aussagen von Frau Fischer. Hiermit kann bestätigt werden, dass der reguläre Gebrauch eine Spectrasehne die Alterung der Sehne beeinflusst.

6.1.2 Dacronsehne

Bei dem Vergleich der Dacronsehnen kann leider keine Aussagen über den Verlauf der Kraftverteilung getroffen werden. Was aber auffällig ist, das die geschossene Sehne bei 703N reißt, was nur knapp 10N weniger ist als die Referenzsehne. Häufig sind Dacronsehnen auch leicht dicker als Spectrasehnen.

Weiter hinaus kann man bei der Referenzsehne aus Dacron, wie auch schon ober erwähnt, feststellen, dass die Integrität der Sehne noch funktionstüchtig war. Dies ist an den erneuten Kraftanstiegen nach jedem lokalen Tiefpunkt zu erkennen. Die Abstürze auf die lokalen Tiefpunkte sind einzelne gerissene Garne, die durch Überdehnung der Belastung nichtmehr trotzen können.

Das Aussehnen der geschossenen Dacronsehne spiegelt aber im Gegensatz zum Zugtestergebnis eine deutliche Alterung wieder. Erkennbar ist das an den Fransen der Sehne und den losen Garnen, die eigentlich als Sehne zusammengedreht sind.

Bei dem Klangbild der beiden Dacronsehnen konnte keine Veränderung festgestellt werden. Zwar war der Klang eher klarer als der dumpfe Ton der Referenzsehne aus Spectra, einen Rückschluss auf die Alterung nur durch das Klangbild war in diesem Falle aber nicht möglich.

Schlussendlich ist die Alterung einer Dacronsehne vor allem äußerlich deutlich festzustellen, aber eine explizite Auswirkung auf die Zugfähigkeit lässt sich nicht beweisen. Zwar reißt die Sehne 10N vor der Referenzsehne, doch bei einer maximalen Zugkraft von rund 700N sind dies knappe 1,4% Zugkraftverlust. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Dacronsehne sich deutlich robuster im normalen Schussgebrauch verhält, was aber auch mit der erhöhten Dicke im Gegensatz zur Spectrasehne in Verbindung steht.

6.1.3 Spectragarn

Die Kraftverteilung des Referenzgarns und des witterungsbelasteten Garns ist relativ gleich. Auch der Punkt der Auslenkung beim Reißpunkt ist ungefähr gleich (37,5mm zu 36,7mm). Der Hauptunterschied der beiden Garne liegt bei der maximalen Krafteinwirkung. Während das Referenzgarn erst bei 47,8N gerissen ist, reißt das witterungsbelastete Garn schon bei 45,1N. Das ist ein Zugkraftverlust von 5,6%.

Beim Aussehen des Specragarns waren wieder ein Ausfransen und auch eine deutliche Verfärbung zu sehnen. Die Verfärbung ist auf die starke Sonneneinstrahlung zurückzuführen, da das Garn für mehrere Wochen im freien gelagert wurde.

In Bezug auf den Ton konnte festgestellt werden, dass das witterungsbelastete Garn deutlich höher klingt als das Referenzgarn. Die hängt sehr wahrscheinlich mit dem fehlenden Wachs zusammen, was das Garn erheblich schwerer macht. Durch das viele Regnen und den extremen Belastungen von Sonne, Hitze und Kälte hat sich das Wachs über die Zeit abgetragen.

Im Endeffekt kann man sagen, dass aufgrund der vernachlässigten Pflege die schützende Wachsschicht teilweise abgetragen worden ist. Dadurch wurde die Alterung des Garns, obwohl sie nicht geschossen wurde, deutlich vorangetrieben. In allen drei Aspekten, Ton, Aussehen und Zugfestigkeit schneidet der witterungsbelasteter Garn schlechter ab.

6.1.4 Dacrongarn

Der Refernezgarn erreicht seinen Peak bei einer Auslenkung von 66,1mm und reißt bei einer Kraft von 70,6N. Auffällig im Vergleich zu dem witterungsbelasteten Garn ist der Verlauf des Abrisses des Garns. Das Referenzgarn reißt sofort und ruckartig ab, das witterungsbelastete Garn dagegen reißt sehr weich und langsam ab, sodass eine deutliche Kurve im Abrissverlauf zu erkennen ist. Dies ist wieder auf die Integrität des neuen Garns zurückzuführen. Weiter hinaus reißt der belastete Garn schon nach einer Auslenkung von 25,2mm und einer maximalen Krafteinwirkung von 56N, was einen Zugkraftverlust von 21% bedeutet.

Auch das Aussehen der beiden Garne ist sehr verschieden. Während das Referenzgarn mit einer dicken Wachsschicht überzogen ist, fehlt auf dem belasteten Garn fast jegliches Wachs. Dadurch sind auch eine starke Verfärbung und ein sehr ausgeprägtes Ausfransen zu erkennen, was bei dem Referenzgarn nicht auftritt.

Das Klangbild ähnelt sehr dem Spectragarn. Die belasteten Garne klingen höher und unklaren, laut Frau Fischer eher „diffuser“, während sich die Refernezgarne eher tiefer und dumpfer anhören.

In Konsequenz kann man sagen, dass auch hier die abgetragene Wachsschicht enorm zur Alterung des Bogengarns beigeträgt. Nach dem Test des einzelnen Garns ist bestätigt worden, dass Dacron als Material deutlich empfindlicher auf Umwelteinflüsse reagiert und schneller altert. Der geringe Zugkraftverlust der Dacronsehne lässt sich mit der Anzahl der Garne belegen. Dacronsehnen sind dicker und haben somit mehrere einzelne Garne, was der Sehne eine erhöhte Stabilität verleiht. Durch den Test der einzelnen Garne aber wird deutlich, dass das Material Spectra deutlich robuster ist als Dacron.

Material	Referenz (in Newton)	Belastete Sehne/Garn (In Newton)	Zugkraftverlust
Dacronsehne	712,2	703,0	1,32%
Spectrasehne	856,1	808,5	5,56%
Dacrongarn	70,6	56,0	20,67%
Spectragarn	47,8	45,1	5,64%

Abb. 21: Zugkraftverlust aller getesteten Sehnen und Garne in %

6.2 Präventionsmaßnahmen

Um ein schnelles Verschleißen der Sehnen zu verhindern und somit die Gefahr des Reißens einer Sehne beim Schuss zu minimieren, sollten verschiedene Regeln mit dem Umgang von Bogensehnen und Garne beachtet werden.

An erster Stelle spielt die Lagerung der Sehnen und Garne eine sehr große Rolle. Man sollte immer darauf achten, dass die Sehnen bevorzug in einer beheizten und überdachten Gebäude gelagert werden. Besonders vor direkter Sonneneinstrahlung muss die Sehne geschützt werden. Grund dafür ist, dass die Oberfläche der Sehnen sehr schnell spröde wird, was das Ausfransen der Sehne erheblich beschleunigt.

Des Weiteren sollten die Sehnen und Garne vor Nässe und Frost geschützt werden, da das Einfrieren und Wiederauftauen der Sehnen die innere Struktur erheblich beschädigt und sogar zum stärkeren Ausfransen der Sehne beiträgt. Diese beschädigte Struktur hat sich hauptsächlich bei den Zugbelastungstests bemerkbar gemacht.

Als letztes sollte die Sehne immer gut gepflegt werden. Optimal geeignet ist handelsübliches Sehnenwachs, was in Bogensportläden oder im Internet leicht zu erwerben ist. Das Wachs verhindert, dass Verschmutzungen oder Witterungseinflüsse die einzelnen Garne angreifen und somit die Integrität der Bogensehne negativ beeinflussen. Empfehlenswert ist die Pflege der Sehne mit Wachs bei Bedarf nach jedem Einsatz, spätestens aber wenn nur noch eine dünne oder lückenhafte Wachsschicht die Sehne bedeckt.

Dennoch gibt es auch Grenzen, welche bei den Experimenten aufgekommen sind. Als erstes ist die wissenschaftliche Beurteilung des Klangbilds. Die Idee mit einem Dezibel-Messer die verschiedenen Lautstärken der Sehnen und Garne beim Schwingen zu dokumentieren, war leider nicht erfolgreich, da die geringen Unterschiede in den Klängen nicht von dem Messgerät erkannt wurden. Für ein sauberes Messergebnis wäre ein professionelles Dezibel-Messgerät notwendig gewesen.

Eine weitere Grenze war die Wiederholbarkeit der Zugversuche. Da die Sehnen und Garne zum Reißen gebracht wurden und nicht unendlich viele Sehnen (Kosten, Verschwendung) vorhanden waren, konnten die Zugversuche oft nur einmal durchgeführt werden. Trotzdem wurden mit dem Experiment gut verwertbare Daten gesammelt, mit der auch vergleichbare Ergebnisse zusammengekommen sind.

7 Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Alterung einer Bogensehne anhand der dargelegten Experimente erfolgreich analysiert wurden. Es wurden die theoretischen und praktischen Grundlagen eines Bogens und der Bogensehne erläutert, eine Methodik für die Simulierung eines Lebenszyklus und verschiedener Belastungen der Bogensehne erstellt, die praktische Durchführung des Experiments dokumentiert und abgeschlossen und die Erkenntnisse ausgewertet. Doch ist es durch die Versuche möglich, die Alterung der Bogensehne nachzuvollziehen?

Diese Frage ist mit ja zu beantworten, da die Alterung im Allgemeinen veranschaulicht wurde. Man erkennt einen deutlichen Unterschied zwischen Referenzsehnen und garne und den belasteten Sehnen und Garne. Die Zugkraft ist in allen Fällen durch die Belastungen verringert worden. Das Aussehnen unterscheidet sich auch maßgeblich voneinander, während die Referenzsehnen keine Beschädigungen aufweisen, erkennt man bei den witterungsbelasteten Sehnen eine deutliche Verfärbung gepaart mit teilweise starker Ausfransung. Das Klangbild ist in den meisten Fällen auch so erkennbar gewesen, dass man auch die Veränderungen im Klangbild zwischen Referenz und dem gebrauchten Zustand erkennen konnte.

Zweitens kann man die beiden Materialien, Dacron und Spectra, voneinander selbst unterscheiden. Dacron ist sehr robust gegenüber Schussbelastungen, unter Aussetzen von Witterungsbedingungen dagegen ist das Dacron sehr anfällig. Dies ist bei der Spectrasehne genau umgekehrt, welche auf Umwelteinflüsse sehr schwer beeinflusst wird. Schussbelastungen hingegen sind für Spactra eher eine Größe, die die Alterung der Sehne negativ beeinflusst.

Weiter hinaus sind auch Lösungsvorschläge erarbeitet worden, welche Empfehlungen geben, mit welchen Mittel die Alterung der Bogensehne verlangsamt werden kann. Hier wurden größtenteils auf zwei Bereiche eingegangen, der Ort der Lagerung und die Pflege der Sehnen und Garne.

Dennoch sind auch Probleme bei der Analyse der Alterung der Bogensehne aufgetreten. Ein Problem war, dass die Backen der Zugmaschine der DHBW nur mit

einer maximalen Geschwindigkeit von 5mm pro Sekunde fahren können. Deswegen konnte eine Schusssimulation von 10.000 Schuss pro Sehne nicht durchgeführt werden, um einen Schussgebrauch der Sehnen zu simulieren, da dies von der Zeit nicht umsetzbar war. Es wäre von Vorteil gewesen, die genaue Schussanzahl der Sehnen zu kennen, um so noch genauere Untersuchungen durchzuführen und noch aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten. So konnte nur zwischen benutzen Sehnen und neuen Sehnen unterschieden werden.

Ein weiteres Problem war die Bewertung des Klangbilds der Sehnen. Zwar konnte man durch gutes Zuhören die verschiedenen Höhen und Tiefen und das allgemeine Klangbild subjektiv beurteilen, die Aufzeichnung dieses Klangbilds hat sich aber als sehr kompliziert dargestellt. Es wäre ein professioneller Dezibel-Zähler oder ein Stimmgerät für Musikinstrumente (Saiteninstrumente) nötig gewesen, um ein wissenschaftlich belegbares Ergebnis zu liefern.

Im Hinblick auf die Zukunft wäre ein Test der Bogensehnen in extremen Temperaturen anzustreben, besonders Hitze soll das Schussverhalten extrem negativ beeinflussen. Diese Tests müssten in einer Wärmekammer durchgeführt werden, haben aber trotz ihres hohen Aufwands eine sehr große Aussagekraft. In der Realität kommt es oft vor, dass Bogenschützen Wettkämpfe auch Outdoor austragen, weswegen an einem heißen Sommertag die Schützen am Morgen bessere Ergebnisse erzielen wie in der Mittagssonne.

8 Quellen

8.1 Literaturquellen

National Research Council. (1996). Accelerated Aging of Materials and Structures: The Effects of Long-Term Elevated-Temperature Exposure. Washington, DC: The National Academies Press.

8.2 Internetquellen

(1) https://bogenundpfeile.de/verbaende/wieviele-bogenschuetzen-hat-deutschland/

(2) https://www.bogensportwelt.de/mediafiles/Anleitungen/Anleitung_Compoundbogen.pdf

(3) https://www.bogenschiessen-bruno.at/geschichte-bogensport.php

(4) https://slideplayer.org/slide/626011/

(5) https://www.bogenladen-collenberg.de/sehne-defekt-oder-nicht/

(6) Microsoft Word - Sehnenmaterial (ziel-im-visier.de)

(7) https://de.wikibooks.org/wiki/Bogenbau

(8) Schlacht bei Crécy – Wikipedia

8.3 Bildquellen

Abb. 1: Projektzeitplan

Abb. 2: Frau mit traditionellem Langbogen

Abb. 3: Bestandteile eines Bogens

Abb. 4: Klassischer europäischer Langbogen

Abb. 5: Compoundbogen mit markanten Cams (Rollen) an beiden Wurfarmen

Abb. 6: Zugmaschine an der DHBW Friedrichshafen

Abb. 7: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Spectra

Abb. 8: Grafik Kraftverteilung Referenzsehne Dacron

Abb. 9: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Spectra

Abb. 10: Grafik Kraftverteilung Referenzgarn Dacron

Abb. 11: Grafik Kraftverteilung schussbelastete Spectrasehne

Abb. 12: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Dacrongarn

Abb. 13: Grafik Kraftverteilung witterungsbelasteter Spectragarn

Abb. 14: Tabelle mit allen Werten in der Übersicht

Abb. 15: Referenzsehne Dacron

Abb. 16: Referenzsehne Spectra

Abb. 17: Schussbelastete Dacronsehne

Abb. 18: Schussbelastete Spectrasehne

Abb. 19: Witterungsbelasteter Dacrongarn

Abb. 20: Witterungsbelasteter Spectragarn

Abb. 21: Zugkraftverlust aller getesteter Sehnen und Garne in %