

Datenanalyse im Bogensport

Ein Leitfaden der Archery Analytics GmbH, © 2020

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Warum Statistik?.....	3
3. Statistische Grundbegriffe	3
a. Anzahl Pfeile.....	3
b. Anzahl Ringe, Ringe pro Pfeil	4
c. Gruppenmitte, Gruppenverschiebung.....	4
d. Horizontale und vertikale Streuung.....	5
e. Die Streuellipse	6
f. Der Arrow Grouping Indicator	8
g. Signifikanz und Vertrauen.....	9
4. Tuning der Einstellungen des Materials mit RyngDyng	10
a. Grundeinstellungen	10
b. Standhöhe	11
c. Nockpunkt.....	13
d. Tiller	14
e. Abstimmung von Pfeil auf Bogen.....	15
f. Clearance	18
g. Button	18
h. Fine Tuning.....	22
5. Typische Schießfehler	23
a. Instabiler Anker.....	23
b. Lösefehler.....	23
c. Fingerzug ungleichmäßig	25
d. Sehnenschatten nicht konstant	26
e. Druckpunkt am Griff ungleichmäßig.....	27
f. Zu wenig Körperspannung	28
6. Spezielle Tests	29
a. AGI bei zunehmender Distanz.....	29
7. Auswahl eines Satzes von gut abgestimmten Pfeilen.....	31
8. Anhang	32
a. Eigenschwingungsfrequenz von Pfeilen.....	32
b. Normierte vertikale Streuung auf großen Distanzen.....	33
c. Wozu dient der Drall?	35

9. Literaturverzeichnis 36

1. Einleitung

Die autonomen RyngDyng[®] Spotter von Archery Analytics zeichnen alle Pfeilpositionen genau auf und können diese gemessenen Positionen mit den hinterlegten Einstellungen und Angaben der Schützen verbinden. Alle Daten werden gespeichert und stehen für die Analyse bereit. Dies eröffnet ganz neue Möglichkeiten, von denen jede Bogensportlerin und jeder Bogensportler unmittelbar profitieren kann, sei es zur Verbesserung der Schießtechnik oder zur optimalen Einstellung des verwendeten Materials.

In diesem Leitfaden werden die Analysemöglichkeiten vorgestellt und aufgezeigt, wie sich die Vorteile im Training, in der Wettkampfvorbereitung oder in der Analyse von Wettkämpfen nutzen lassen.

2. Warum Statistik?

Die Auswertung von vielen geschossenen Pfeilen basiert auf Statistik und Datenanalyse.

Alle Bogensportler haben ein Grundverständnis für diese Tatsache, indem sie z.B. wissen, dass man aus lediglich 3 Pfeilen noch keine Rückschlüsse ziehen sollte, ob das Visier verstellt werden muss. Weiterhin ist vielen intuitiv klar, dass die ‚Gruppierung‘ eine Aussage über die Position und Formation von mehreren Pfeilen gleichzeitig ist. Oder man berechnet die Kennzahl *Ringe pro Pfeil* in einem Turnier, was bereits eine statistische Kenngröße darstellt.

Das ist aber erst der Anfang. Vielmehr sollte man das Ergebnis vorne auf der Scheibe konsequent als Ergebnis eines statistischen Prozesses begreifen. Der Schütze kann durch Trainieren der Schießtechnik oder durch Tuning des Materials die Variablen des statistischen Prozesses beeinflussen; es bleibt jedoch immer ein statistischer Prozess. Selbst bei den besten Sportlern variieren die Pfeilpositionen auf der Scheibe in statistischer Art und Weise und es wird nie gelingen, einen konstanten Schuss mit exakt wiederholbarer Pfeilposition zu erreichen.

Der Unterschied zwischen sehr guten und guten Sportlern ist vielmehr, dass sie weniger Variationen in die Parameter des Schussablaufs einbringen und damit die Veränderungen von Schuss zu Schuss, von Passe zu Passe und von Tag zu Tag möglichst gering halten. Weiterhin erfassen sehr erfahrene Schützen intuitiv, was das mögliche Problem bei einer Verschlechterung des Schießergebnisses sein könnte, und welche Veränderung in genau dieser Situation erforderlich ist, um eine Korrektur zu erreichen.

Das Ziel dieses Leitfadens ist es, solche Zusammenhänge transparenter und nachvollziehbar für alle Schützen zu machen. Die Archery Analytics Auswertesoftware unterstützt die Schützen dabei in optimaler Weise. Diese Auswertesoftware ist Bestandteil der RyngDyng App, und führt auch die Datenanalyse im persönlichen Account auf www.archery-analytics.com durch.

3. Statistische Grundbegriffe

a. Anzahl Pfeile

Die einfachste statistische Kennzahl ist die **Anzahl Pfeile**, die geschossen wurde. In Turnieren ist diese Anzahl genau vorgegeben, gegliedert in **Passen** und Durchgängen. Im Training wird man die Anzahl Pfeile frei bestimmen, jedoch bleibt die Einteilung in Passen bestehen, da man ja die Pfeile wieder ziehen muss.

Jedes Buch über die Grundlagen des Trainings im Bogensport spricht die Empfehlung aus, für alle Trainingseinheiten die Anzahl der geschossenen Pfeile in einem Schießbuch zu notieren¹.

Aber wozu macht man das? Eine gängige Erklärung ist die, dass die Vorbereitung auf einen Wettkampf eine gewisse Menge an Trainingspfeilen umfassen sollte, und man durch die Aufzeichnung im Schießbuch kontrollieren kann, ob man dieser Empfehlung folgt.

Viel interessanter wäre es jedoch, wenn man analysieren könnte, ob durch eine Erhöhung der Menge an Trainingspfeilen sich das Schießergebnis im Sinne einer geringeren Variation der Pfeilpositionen verbessern lässt (siehe dazu Kapitel 3.f *Der Arrow Grouping Indicator*). Oder führt eine zu hohe Menge an Trainingspfeilen vor dem Wettkampf zum gegenteiligen Effekt, dass das Schießergebnis gar nicht mehr besser oder gar schlechter wird?²

Genau diese Analyse ist auf Basis der von RyngDyng aufgezeichneten Daten möglich. Durch Betrachtung der Anzahl Pfeile von Woche zu Woche in Verbindung mit dem jeweils erreichten *Arrow Grouping Indicator AGI* kann man feststellen, wo die persönliche optimale Menge an Trainingspfeilen für die Wettkampfvorbereitung liegt. Auch lässt sich überprüfen, ob das zeitliche Profil der Trainingsintensität zu einem optimalen Ergebnis am Wettkampftag führt, oder ob das Optimum bereits 2 Tage vorher erreicht war und dann die Degression einsetzte.

b. Anzahl Ringe, Ringe pro Pfeil

Eine Kennzahl, die in jedem Wettkampf erhoben wird, ist die **Summe der erreichten Ringe**. Das ist die alles entscheidende Kennzahl, wenn es um die Wertung und um Ranglisten geht.

Die Rangliste der World Archery³ führt daneben auch noch die Kennzahl **Ringe pro Pfeil** auf. Auf Basis dieser Kennzahl können Schützinnen und Schützen verglichen werden, unabhängig davon, wie viele Wettkämpfe sie bestritten haben. Voraussetzung ist jedoch, dass man nur Schützen innerhalb derselben Wettkampfklasse vergleicht, denn diese Kennzahl nimmt unterschiedliche Werte an, je nach Art des Wettkampfs. Compound und Recurve unterscheiden sich sowieso erheblich in dieser Kennzahl.

Für das Training der Schießtechnik oder für das Tuning des Materials ist diese Kennzahl jedoch nur bedingt geeignet. Lediglich beim gezielten Training von Wettkampfsituationen kann diese Kennzahl Hinweise auf die aktuelle Leistungsfähigkeit geben.

Für die Analyse der mit RyngDyng aufgezeichneten Daten ist es also sinnvoll, wenn man vor der Aufzeichnung den Hinweis hinterlegt, dass die folgenden Passen zu einer Wettkampfsimulation gehören. So wird man später die berechnete Kennzahl **Ringe pro Pfeil** mit dem erreichten Wert im Wettkampf vergleichen können. Auch eine langfristige Beobachtung der Veränderung dieser Kennzahl ist sinnvoll, um die Entwicklung der Leistungsfähigkeit in Wettkampfsituationen beurteilen zu können.

c. Gruppenmitte, Gruppenverschiebung

Jede Schützin und jeder Schütze kennt die Situation, dass man vor dem Ziehen der Pfeile einer Passe die Pfeilgruppe betrachtet und feststellt, dass die Lage der Mitte der Pfeilgruppe nicht mit dem Zentrum der Auflage übereinstimmt. Man macht sich Gedanken, woran das liegen könnte und ob man das Visier verstellen muss.

¹ Siehe (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010)

² Sogenanntes Übertrainieren, siehe z.B. (Vogel, 2001) oder (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010) S. 609

³ World Archery Ranking: (World Archery, 2019)

Aber was genau ist diese **Mitte der Gruppe**? So lange die Pfeilpositionen eine einigermaßen gleichmäßige Kreisscheibe abdecken, wird man den Mittelpunkt dieses Kreises als Mitte der Gruppe bezeichnen. Meistens jedoch liegt ein anderes Bild vor, z.B. stehen einige Pfeile eng beieinander und ein paar wenige weichen nach oben oder nach links ab. Wo ist hier die Mitte?

Die Antwort der Statistik ist: Die Koordinaten der Gruppenmitte sind die Mittelwerte der Koordinaten der Pfeilpositionen. Das veranschaulicht das nachstehende Bild:

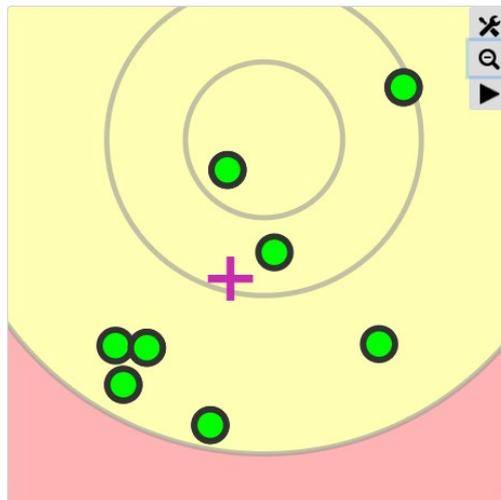


Abbildung 1: Gruppenmitte

Wir sehen 8 Pfeile (grüne Punkte) im Gold einer 60er Auflage. Das Kreuz markiert die statistische Mitte dieser Gruppe.

Die Archery Analytics Auswertesoftware berechnet die Gruppenmitte für jede angezeigte Menge an Pfeilen und markiert diese Position mit einem Kreuz. Dies ist die objektive und eindeutige Gruppenmitte, unabhängig davon, welches Muster die Pfeile bilden.

Nun erkennt man auch genau die **Verschiebung der Gruppe**, d.h. die Abweichung der Pfeilgruppe vom Mittelpunkt der Auflage. Diese Abweichung wird in der Auswertung als horizontale und vertikale Verschiebung in cm angegeben. In obigem Beispiel wären diese Werte -0,6 cm horizontal (d.h. nach links) und -2,7 cm vertikal (d.h. nach unten). Positive Werte stehen entsprechend für eine Verschiebung nach rechts bzw. nach oben.

d. Horizontale und vertikale Streuung

Die nachfolgenden 3 Bilder zeigen Pfeilgruppen aus je 12 Pfeilen. Die Gruppenmitten (Kreuz) sind jeweils ungefähr an derselben Stelle. Worin liegt aber der Unterschied?

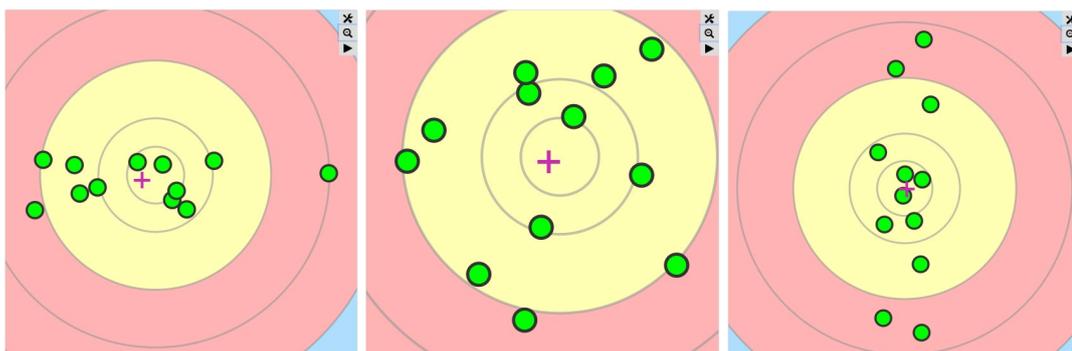


Abbildung 2: Gleiche Gruppenmitte – verschiedene Streuung

Der Unterschied liegt in der sogenannten **Streuung**. Die Archery Analytics Auswertesoftware berechnet für jede dargestellte Pfeilgruppe sowohl die horizontale als auch die vertikale Streuung.

Die berechneten Streuungen der drei dargestellten Pfeilgruppen sind:

	links	Mitte	rechts
horizontale Streuung	5,7 cm	4,3 cm	1,3 cm
Vertikale Streuung	1,3 cm	4,6 cm	6,5 cm

Man erkennt an den Werten für die Streuungen, dass im linken Bild eine starke horizontale Streuung vorliegt, die vertikale Streuung jedoch sehr klein ist. Im rechten Bild ist es umgekehrt und im mittleren Bild sind horizontale und vertikale Streuung etwa gleich. Aus der Tatsache, dass horizontale und vertikale Streuung voneinander abweichen, lassen sich Rückschlüsse auf mögliche Fehler in der Schießtechnik ziehen.

Die statistische Kenngröße als Basis für die Streuung ist die sogenannte *Standardabweichung*.

Neben der Streuung in cm berechnet die Auswertesoftware noch die *normierte Streuung*. Diese Kennzahl entsteht dadurch, dass man die Streuung durch die Distanz teilt, auf die geschossen wurde. So entsteht eine Kenngröße, die ein Maß für die Winkelstreuung ist, und die nicht mehr von der Distanz abhängt. Diese Kennzahl ist für manche Fehleranalysen hilfreich, siehe z.B. Kapitel 5.b *Lösefehler*.

e. Die Streuellipse

Die zwei folgenden Bilder zeigen 2 Pfeilgruppen zu je 12 Pfeilen, die ungefähr dieselbe Gruppenmitte haben, aber auch dieselbe horizontale und vertikale Streuung:

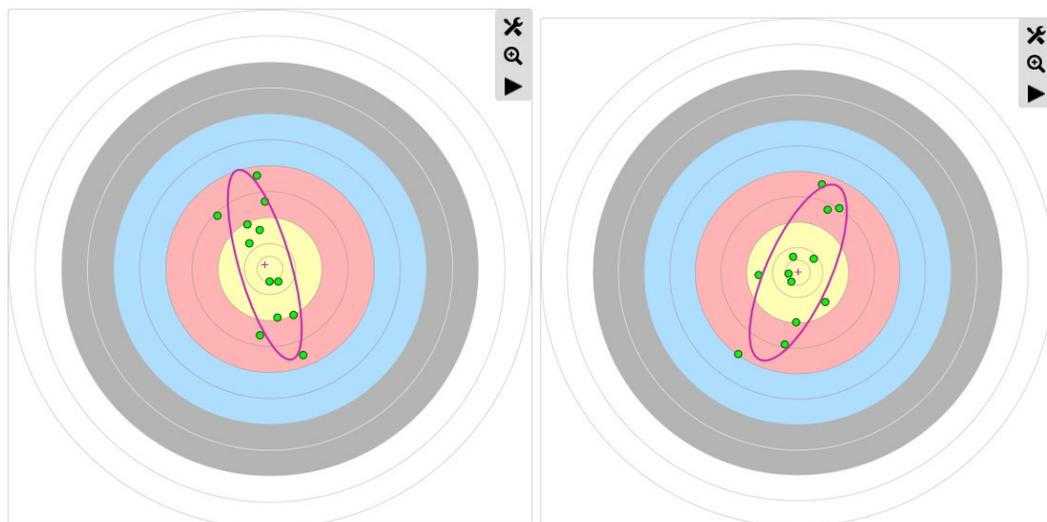


Abbildung 3: gedrehte Streuellipsen

Und doch unterscheiden sie sich deutlich. Man erkennt den Unterschied sofort anhand der eingezeichneten **Streuellipse**. Dieser Begriff setzt sich zusammen aus dem Wort *Streuung* und dem Wort *Ellipse*.

Im linken Bild ist die Streuellipse anders geneigt als im rechten Bild. Also muss es unterschiedliche Ursachen dafür geben, warum im linken Bild die Pfeile nach links tendieren, je höher sie stecken, im rechten Bild ist es genau umgekehrt. Im Kapitel 5.c werden wir sehen, dass dies z.B. von einem ungleichen Fingerzug an der Sehne herrühren kann.

Die Archery Analytics Auswertesoftware berechnet zu jeder angezeigten Pfeilgruppe, die mindestens 3 Pfeile umfasst, diese Streuellipse. Der Mittelpunkt der Streuellipse ist identisch mit der Gruppenmitte und wird durch ein Kreuz markiert.

Die Streuellipse ist nicht nur hilfreich bei der Analyse von bestimmten Schießfehlern. Sie zeigt auch auf einen Blick, ob die horizontale und vertikale Streuung gleich ist oder nicht. Denn im Falle gleicher horizontaler und vertikaler Streuung wird die Ellipse zu einem Kreis, wie man an nachstehendem Beispiel einer Überlagerung aus 3 Passen sehen kann:

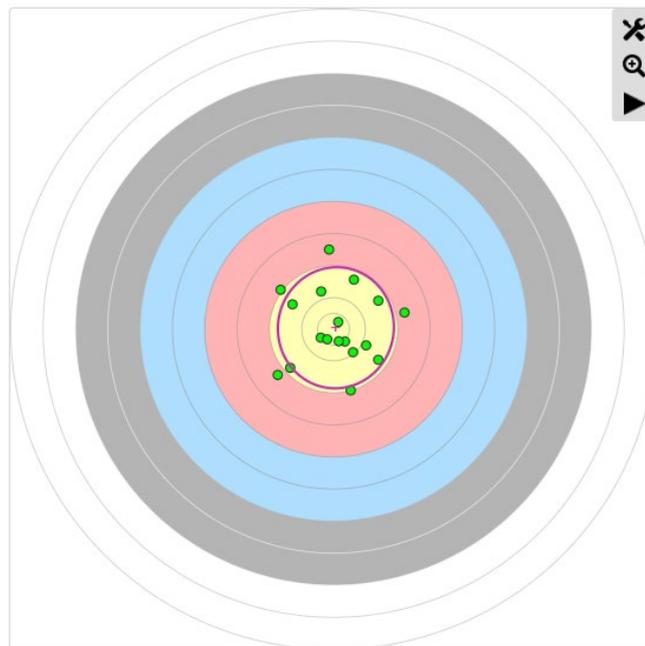


Abbildung 4: Streuellipse als Kreis

Hier beträgt die horizontale Streuung 4,4 cm, die vertikale Streuung ist 4,6 cm.

Die Größe der Streuellipse ist so bemessen, dass etwa 90% der Pfeile innerhalb liegen und 10% außerhalb. Sie entsteht durch eine statistische Berechnung und ist daher nicht identisch mit einer Linie, die alle Pfeile umschließt (die sogenannte *konvexe Hülle*, die einem Band entspricht, das man um die Pfeilgruppe herumlegt).

Sie macht daher eine Aussage über die Mehrheit der Pfeile; Ausreiser haben nur einen anteiligen Einfluss auf die Ellipse, wie das nachfolgende Beispiel zeigt:

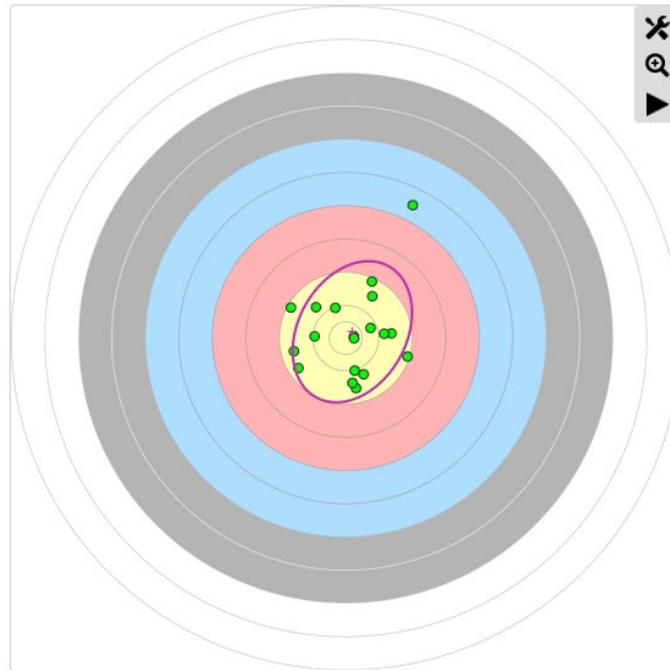


Abbildung 5: Einfluss von Ausreißern

Der Ausreißer in der 6 hat zwar einen sichtbaren Einfluss auf die Streuellipse, jedoch ist es nur ein Pfeil von 18, so dass der Einfluss statistisch gesehen gering ist. Wären im Gold lediglich 5 Pfeile, so wäre der Einfluss des Ausreißers auf die Streuungen und die Streuellipse entsprechend größer.

f. Der Arrow Grouping Indicator

Die wichtigste Kenngröße für die Trainingsunterstützung und für das Bogentuning ist der von Archery Analytics entwickelte **Arrow Grouping Indicator (AGI)**. Diese statistische Kenngröße macht eine Aussage über die Gruppierung von Pfeilen und hat folgende Eigenschaften:

- Es ist eine Zahl zwischen 0 und 100.
- 100 bedeutet: Alle Pfeile haben exakt dieselbe Position⁴.
- 0 bedeutet: Die Pfeile sind maximal über die Auflage verteilt (bezogen auf die Referenzaufgabe 122er auf 70m Distanz).
- Der AGI kann für jede Pfeilgruppe aus mindestens 3 Pfeilen berechnet werden
- Der AGI ist unabhängig von der Distanz, auf die geschossen wurde. Es ist eine Kennzahl für die Qualität des Schießergebnisses.
- Der AGI ist unabhängig von der Position der Gruppenmitte. Es kommt nur darauf an, wie die Pfeile zueinander stehen.
- Der AGI ist unabhängig von einer Drehung der Pfeilgruppe um die Gruppenmitte (vergleiche dazu *Abbildung 3: gedrehte Streuellipsen*).

Die Tatsache, dass der AGI unabhängig von der Distanz ist, verdeutlicht folgende Skizze:

⁴ In der Praxis erreicht man 100 nur in der Überlagerung von wenigen Pfeilen, z.B. von 3 Spots mit je einem Pfeil an genau derselben Position

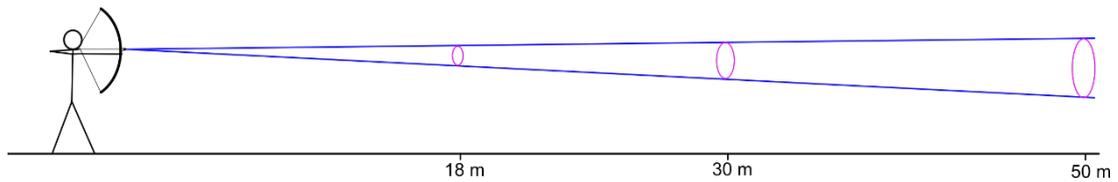


Abbildung 6: AGI und Distanz

Fliegen alle Pfeile innerhalb des blau markierten Korridors, so werden sie auf den unterschiedlichen Entfernungen innerhalb der violett eingezeichneten Streuellipsen landen. Für die Gruppierung von Pfeilen heißt das, dass eine kleinere Streuellipse auf kurzer Distanz dieselbe Ungenauigkeit ausdrückt wie eine größere Streuellipse auf größerer Distanz⁵.

Der AGI basiert auf der Größe der Streuellipse, die jedoch zuerst auf eine einheitliche Distanz proportional umgerechnet werden muss. Dadurch wird der AGI unabhängig von der Distanz und stellt letztlich ein Maß für die statistische Winkelstreuung dar.

Durch seine speziellen Eigenschaften, wird der AGI zu einem äußerst hilfreichen Instrument zur Messung der Qualität des Schießergebnisses und für das Tuning des Materials. Dies wird in den anderen Kapiteln dieses Leitfadens ausgeführt.

An dieser Stelle sei nur so viel verraten: Will man bei Wettkämpfen alle Pfeile im Gold haben, sollte man zuverlässig AGI-Werte von mindestens 95 erreichen, bei etwa kreisförmiger Streuellipse. Zusätzlich sollte man noch die Gruppenmitte ins Zentrum der Auflage bringen, was aber im Vergleich zum hohen AGI der einfachere Teil ist.

g. Signifikanz und Vertrauen

Durch die Möglichkeit der Überlagerung mehrerer Passen in einem Bild kann man viele Pfeile in einer Gruppe zusammenfassen und das Vertrauen in die berechneten Kennzahlen wird dadurch wesentlich höher.

Betrachten wir als Beispiel noch einmal die Gruppenverschiebung. Man sollte erst dann eine Visierverstellung erwägen, wenn man ausreichend viele Pfeile als eine Gruppe dargestellt hat und sich bei diesen vielen Pfeilen eine deutliche Verschiebung der Gruppenmitte zeigt. Denn eine Verschiebung von lediglich z.B. 6 Pfeilen kann purer Zufall sein, bei den nächsten 6 Pfeilen schaut es wieder anders aus.

Als Beispiel für diese Überlagerung von mehreren Passen nachfolgend ein Bild mit 36 Pfeilen aus 6 Passen à 6 Pfeilen. Die Gruppenmitte (Kreuz) liefert in diesem Beispiel keinen Anhaltspunkt für eine deutliche Gruppenverschiebung, so dass man nicht handeln muss.

⁵ Die Ungenauigkeit bezieht sich hier auf die Pfeilpositionen in der Scheibe, nicht auf die Schießtechnik

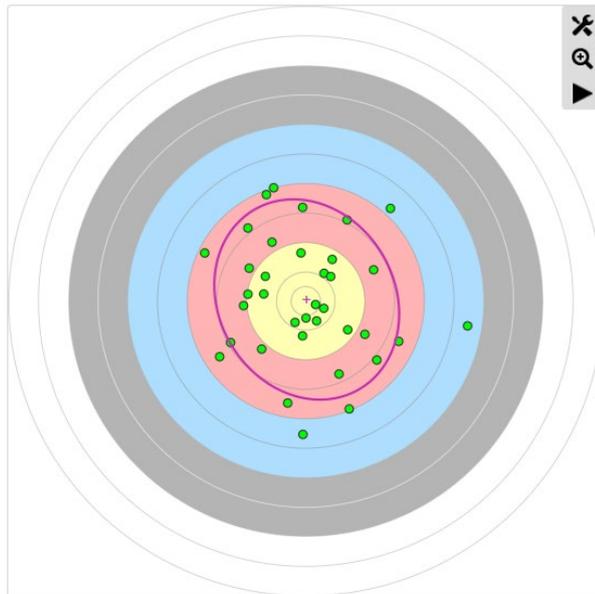


Abbildung 7: Gruppenmitte bei 6 überlagerten Passen

In der Statistik bezeichnet man das Vertrauen in eine statistische Aussage als *Signifikanz*. Die Signifikanz der berechneten Kennzahlen ist umso höher, je mehr Pfeile gleichzeitig dargestellt und ausgewertet werden.

Eine sehr hohe Signifikanz wird erreicht, weil RyngDyng viele Passen aufgezeichnet hat, alle Daten zur weiteren Analyse gespeichert wurden und diese Daten zu einem Bild überlagert werden können. Schaut man nur auf das Ergebnis einer Passe (z.B. beim Pfeileziehen) wird man diese hohe Signifikanz (Vertrauen) nicht erreichen können:

Keine Datenaufzeichnung – keine Signifikanz.

4. Tuning der Einstellungen des Materials mit RyngDyng

a. Grundeinstellungen

Bevor mit dem Tuning einzelner Parameter angefangen werden kann, müssen einige Grundeinstellungen vorgenommen werden, siehe z.B. (Easton, 2019). Denn nur mit einer schon guten Grundeinstellung ist es erst sinnvoll, einzelne Parameter zu optimieren.

Zu den Grundeinstellungen gehört:

- Zentrierung der Wurfarme
- Standhöhe
- Tiller und Tillerdifferenz⁶
- Höhe der Pfeilauflage
- Nockpunktüberhöhung
- Zentrierung des ruhenden Pfeils mittels Button
- Zentrierung des Visiers
- Härte der Buttonfeder

⁶ Der obere Tiller ist der senkrechte Abstand von der Sehne zur Aufnahme des oberen Wurfarms am Mittelteil. Der untere Tiller entsprechend unten. Die Tillerdifferenz ist der Unterschied zwischen dem größeren oberen Tiller und dem kleineren unteren Tiller. Gelegentlich wird die Tillerdifferenz einfach ‚Tiller‘ genannt, wenn keine Verwechslungsgefahr besteht.

Die Grundeinstellungen sollten auch in dieser Reihenfolge vorgenommen werden.

Zur Zentrierung der Wurfarme gehört, dass der Sehnenverlauf genau mittig über die Wurfarme und der Achse des Mittelteils verläuft. Dies geschieht mit Hilfe von Zentrierschablonen auf den Wurfarmen und durch optische Kontrolle der Position der Sehne.

Bei der Standhöhe orientiert man sich zunächst an dem vom Hersteller des Mittelteils empfohlenen Bereich für die Standhöhe. In (Easton, 2019) findet sich beispielsweise diese Tabelle:

Größe des Bogens	Bereich für Standhöhe
64"	210 – 216 mm
66"	213 – 219 mm
68"	216 – 222 mm
70"	217 – 225 mm

Hersteller von Mittelteilen wie Hoyt geben dagegen andere Bereiche an, je nach Mittelteil. Wieder eine andere Tabelle ist in (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010) S. 672 angegeben. Für die Grundeinstellung nimmt man einfach einen Wert in der Mitte des empfohlenen Bereichs.

Die Tiller der Wurfarme sollten so eingestellt sein, dass das gewünschte Zuggewicht im Vollauszug erreicht wird und die Tillerdifferenz etwa 4-6 mm beträgt.

Die Höhe der Pfeilaufgabe wird so eingestellt, dass die Mitte des Buttonstifts mit der Mitte des Pfeilschafts übereinstimmt.

Die Nockpunktüberhöhung wird ebenfalls auf einen empfohlenen Wert von 8–12 mm eingestellt.

Die Spitze des ruhenden, eingnockten Pfeils wird durch die Position des Buttons zentriert oder ganz leicht nach außen⁷ versetzt (max. 1-2 mm).

Das Visier wird zunächst zentriert, d.h. das Visierkorn sitzt ebenfalls in der zentralen vertikalen Ebene aus Sehne und zentraler Achse des Mittelteils.

Die Federhärte des Buttons soll im „arbeitenden Bereich“ sein. Diesen findet man durch das Schießen einiger Pfeile auf 18 m Distanz. Zum Anfang wird die Federhärte sehr hart eingestellt, indem man den Drehknopf des Buttons nach innen schraubt. Die Pfeile sollten bei dieser Einstellung und bei zentriertem Visier beim Rechtshandbogen links vom Zielpunkt landen (beim Linkshandbogen rechts vom Zielpunkt). Sodann macht man den Button schrittweise um je eine halbe Umdrehung des Drehknopfs weicher, bis die Pfeile in etwa auf der senkrechten Linie durch den Zielpunkt sitzen (ob ober- oder unterhalb ist hier nicht relevant).

b. Standhöhe

Nach der Grundeinstellung des Bogens sollte man mit der Optimierung der Einstellung für die Standhöhe beginnen. Denn ist die optimale Standhöhe einmal gefunden, dann wird diese in der Regel nicht mehr oder nur kaum verändert, auch wenn man Tiller, Nockpunktüberhöhung oder Button danach noch verändern möchte.

Die Standhöhe ist entscheidend für den genauen Zeitpunkt zu dem der Pfeil sich von der Sehne löst. Stimmt dieser Zeitpunkt nicht, kann es zu Clearance Problemen kommen, d.h. der

⁷ ‚außen‘ bedeutet immer weg vom Bogenfenster, egal ob Links- oder Rechtshandbogen

Pfeil kommt nicht aus dem Bogen, ohne irgendwo zu streifen. Das führt dann zu einer unsauberen Flugbahn. Auch die Pfeilgeschwindigkeit wird von der Standhöhe abhängen, denn die Dauer der Wirkung der beschleunigenden Kraft hängt davon ab.

Der interessante Punkt ist nun, dass die optimale Standhöhe mit Hilfe von Gruppierungstests gefunden werden kann. Der *Arrow Grouping Indicator* AGI (siehe Abschnitt 3.f) drückt die Qualität einer Gruppierung in einer einzigen Zahl und unabhängig von der Distanz aus, so dass der AGI die am besten geeignete Kennzahl ist, um diese Gruppierungstests durchzuführen.

Neben den Gruppierungstests ist der Sound des Bogens beim Abschuss des Pfeils ein wichtiger Indikator. Allerdings setzt die Beurteilung des Klangs eine gewisse Erfahrung voraus und man kann sich leicht dabei irren. Als Faustregel mag gelten, dass wenn der Schuss nicht gut klingt, die Standhöhe möglicherweise nicht gut eingestellt ist. Umgekehrt gilt leider nicht, dass wenn der Schuss gut klingt, die Standhöhe optimal ist. Optimal ist sie nämlich erst dann, wenn der AGI-Wert optimal ist.

Für das Auffinden der optimalen Standhöhe muss also dieser empfohlene Bereich ‚durchsucht‘ werden. Je nachdem, wie gründlich dies geschehen soll, verändert man die Standhöhe in Schritten von 1 oder 2 mm, beginnend beim kleinsten Wert und bis zum größten empfohlenen Wert. Dabei wird immer auf denselben Punkt gezielt. Ob die Pfeile an diesem Punkt landen, ist unerheblich. Es kommt auf die Gruppierung der Pfeile an.

Archery Analytics empfiehlt, diesen Test wenn möglich auf eine Entfernung von wenigstens 30 m zu schießen, damit andere Effekte, die einen unsauberen Pfeilflug verursachen können, zumindest gleichmäßig wirken können⁸.

Die RyngDyng App unterstützt dieses Absuchen des Wertebereichs, indem zu jeder eingestellten Standhöhe eine beliebige Anzahl Pfeile aufgezeichnet wird, und das Ergebnis als übersichtliche Grafik präsentiert wird.

Das nachfolgende Bild zeigt einen Test, bei dem für 4 unterschiedliche Standhöhen je 18 Pfeile geschossen wurden. Da in der RyngDyng App der *Gruppierungstest* ausgewählt wurde, wird die untere Grafik mit den AGI-Werten zu den Standhöhen angezeigt. Der beste AGI zeigt sich bei der Standhöhe 224 mm.

⁸ Z.B. ein (noch) nicht optimal auf diesen Bogen abgestimmter Pfeil

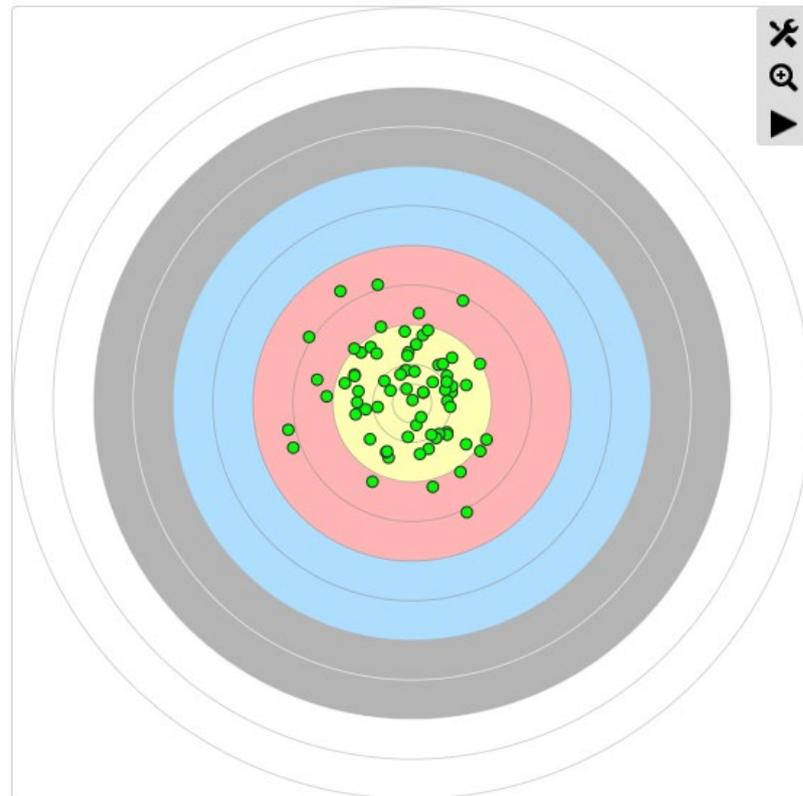


Abbildung 8: AGI – Standhöhe

In dem oben gezeigten Beispiel könnte es sein, dass der Bogen im Bereich 223 – 227 mm ‚gut‘ klingt. Das Optimum kann mit dieser akustischen Methode i.d.R. nicht gefunden werden.

Je höher die Anzahl geschossener Pfeile pro Standhöhe ist, desto signifikanter (vertrauensvoller) wird das Ergebnis sein.

c. Nockpunkt

Ein Grundproblem eines jeden Bogens ist, dass die Kraftmitte am Bogen dort ist, wo die Hand den Bogen stützt (Griffstück), der Pfeil jedoch 4-5 cm oberhalb dieser Kraftmitte aufliegt. Deswegen kann man den Pfeil auch nicht genau in der Mitte der Sehne einnocken, sonst würde er unkontrolliert nach oben wegfliegen. Nockt man ihn aber genau auf Höhe der Pfeilaufgabe ein, so wird das hintere Ende des Pfeils meist noch nicht auf einer geraden Linie nach vorne beschleunigt; es sei denn, man korrigiert den oberen und unteren Zug der Sehne.

Dies ist – kurz gesagt – das Problem, das durch einen asymmetrischen Tiller und durch die Nockpunktüberhöhung gelöst werden soll. Das Ziel dieser Einstellungen ist es, dass die

beschleunigende Kraft beim Abschuss genau in der horizontalen Ebene der Pfeilachse verläuft.

Stimmen die Parameter nicht, wird der Pfeil direkt nach dem Abschuss eine vertikale Neigung gegenüber seiner Flugbahn haben, und während des Flugs bis zum Ziel vertikal um seinen Schwerpunkt auf- und niederschwingen (englisch: porpoising). Diese Bewegung wirkt sich aufgrund der Aerodynamik auf befiederte Pfeile anders aus als auf unbefiederte, so dass diese Pfeile in unterschiedlichen Höhen im Ziel landen werden.

Das Kriterium für die korrekte Einstellung der Nockpunktüberhöhung ist also, dass Blankschäfte (unbefiederte Pfeile) in derselben Höhe auf der Scheibe landen wie befiederte. Das ist der Blankschafttest, der in allen relevanten Büchern zum Thema Tuning beschrieben ist, siehe z.B. (Beck & Meine, 2014).

Die RyngDyng App unterstützt diese Blankschaftstests zum einen dadurch, dass einzelne Pfeile als Blankschäfte gekennzeichnet werden können. Zum anderen wird in der Darstellung der Überlagerung vieler Pfeile eine Streuellipse für alle Blankschäfte getrennt von der Streuellipse für alle befiederten Pfeile berechnet und angezeigt. So wird eine hohe statistische Signifikanz für die Gruppenmitte der Blankschäfte relativ zur Gruppenmitte der befiederten Pfeile erreicht.

Die folgenden Bilder zeigen mögliche Ergebnisse von Blankschaftstests. Es handelt sich um die Überlagerung von 4 Passen zu je 6 Pfeilen, wovon einer ein Blankschaft war. Die Blankschäfte sind als blaue Punkte markiert. Links ist die Gruppenmitte der Blankschäfte tiefer als die Gruppenmitte der befiederten Pfeile, rechts ist es umgekehrt. Links ist der Nockpunkt zu hoch, rechts zu tief.

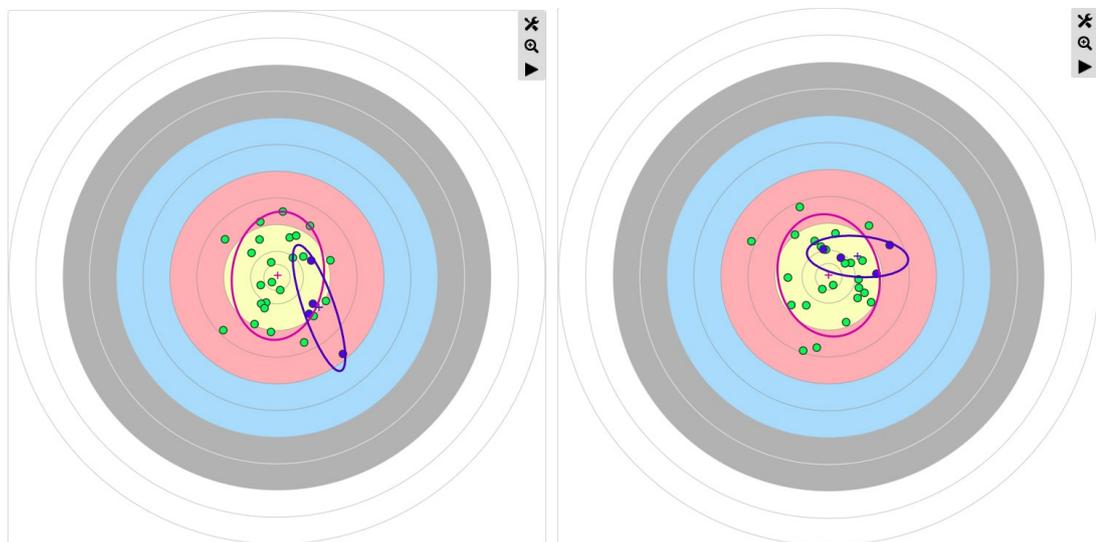


Abbildung 9: Blankschafttest für Nockpunkt

Man kann sich leicht vorstellen, dass in den einzelnen Passen die Lage des Blankschafts relativ zur Gruppe der befiederten Pfeile nicht so ohne weiteres zu erkennen war. In der Überlagerung von 4 Passen und durch die statistische Auswertung erhalten wir mit hoher Zuverlässigkeit diese Information.

d. Tiller

Die Bestimmung der korrekten Nockpunktüberhöhung wie in Abschnitt c beschrieben wurde mit einer Standardeinstellung für die Tillerdifferenz im Bereich 4-6 mm durchgeführt. Es

besteht die Möglichkeit, auch hier den optimalen Wert mittels Gruppierungstest zu bestimmen.

Es wird der Bereich von 0-8 mm schrittweise durchgetestet, wobei die Tillerdifferenz in Schritten von 1 mm verändert wird. Damit dabei die Nockpunktüberhöhung nicht verändert wird, muss bei jeder Veränderung der Tillerdifferenz die Nockpunktüberhöhung nachgemessen und wieder auf den bereits ermittelten optimalen Wert gebracht werden, bevor die Pfeile geschossen werden.

Man schießt nun für jeden eingestellten Wert eine beliebige Anzahl Pfeile aus 30 m. Wie bei jedem Gruppierungstest wird dabei immer auf denselben Punkt gezielt, egal wo die Pfeile landen.

Die RyngDyng App unterstützt diesen Gruppierungstest, indem die jeweilige Tillereinstellung zusammen mit den dazugehörigen Pfeilen gespeichert wird. Weiterhin wird für jede Tillereinstellung der Gruppierungswert AGI für die Pfeile berechnet, die zu dieser Tillereinstellung gehören. Schließlich wird das Ergebnis übersichtlich und prägnant dargestellt:

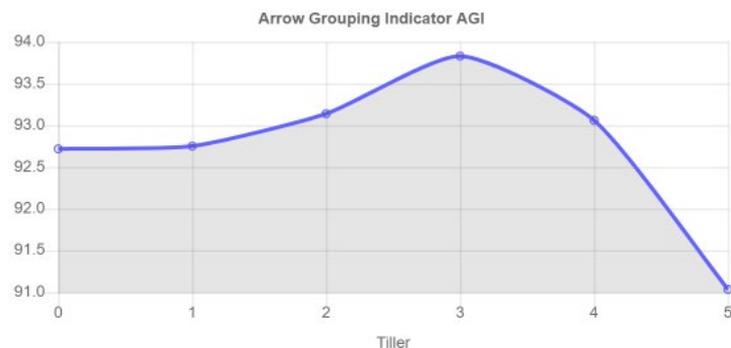


Abbildung 10: AGI – Tiller

Man erkennt, dass in diesem Beispiel eine Tillerdifferenz von 3 mm die beste Pfeilgruppierung hervorbringt.

e. Abstimmung von Pfeil auf Bogen

Die Auswahl und Abstimmung des Pfeils auf den Bogen ist eine Wissenschaft für sich mit entsprechend viel Literatur zu diesem Thema ((Beck & Meine, 2014), (Easton, 2019), (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010), usw.)

Grob gesagt geht es darum, das dynamische Verhalten des Pfeils bei Stauchung und nachfolgender Eigenschwingung auf die Dynamik des Bogens beim Abschuss anzupassen. Der Pfeil soll während des Abschusses genau $1\frac{1}{4}$ Eigenschwingungen vollziehen, so dass in dem Moment, in dem die Federn des Pfeils das Bogenfenster passieren, das Pfeilende gerade nach außen, weg vom Bogenfenster schwingt. So windet sich der Pfeil um das Bogenfenster herum, ohne damit in Berührung zu kommen. Man nennt das auch das Archer's Paradox, siehe (Wikipedia, 2019).

Die Frequenz der Eigenschwingung eines Pfeils liegt je nach Gewicht und Steifheit bei etwa 50-90 Hz. $1\frac{1}{4}$ Schwingungen dauern demnach 13-25 Millisekunden (tausendstel Sekunden). Diese Zeit muss genau zur Beschleunigungszeit im Bogen passen, bis das Pfeilende das Bogenfenster passiert. In dieser Zeit wird auch der Pfeil auf etwa 180-250 km/h beschleunigt (je nach Bogen und Pfeil). Im Anhang Kapitel 7.a wird gezeigt, wie man die Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils berechnen und messen kann.

Man kann die Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils beeinflussen durch

- Steifheit des Schafts (englisch: Spine)
- Länge des Schafts
- Masse / Material des Schafts
- Gewicht der Spitze
- Gewicht der Federn, Wrap und Nocke

Die Beschleunigungszeit im Bogen kann man beeinflussen durch

- Zuggewicht
- ‚Schnelligkeit‘ der Wurfarme (= deren Masse und Kraftkurve)
- Gewicht der Sehne mit Nockpunkten
- Standhöhe⁹

und es werden jeweils noch weitere Parameter diskutiert. Z.B. hat auch der Lösevorgang an der Sehne einen Einfluss darauf, denn dieser beeinflusst die Bewegung der Sehne auf den ersten 2 cm (siehe dazu auch Abschnitt 5.b *Lösefehler*).

Neben dieser Abstimmung von Eigenschwingungszeit und Beschleunigungsdauer muss noch dafür gesorgt werden, dass der Pfeil durch die Stauchung beim Abschuss nicht seitlich aus der idealen Flugbahn zum Ziel gedrückt wird. Hierfür dienen die Einstellparameter des Buttons: Center Position in Ruhelage und Federkraft des Buttonstifts, siehe Abschnitt g.

Ein Fehler in der Abstimmung von Pfeil auf Bogen kann sich auf zwei sehr unterschiedliche Arten äußern.

Erstens kann es wie bei einer falschen Nockpunkthöhe dazu kommen, dass der Pfeil direkt nach dem Abschuss einen Winkel zu seiner Flugbahn bildet¹⁰ und deswegen während des Flugs seitlich hin- und herschwingt (englisch: fishtailing). Dieser Fehler kann auch durch eine falsche Center Position des Pfeils oder einer falschen Härte der Buttonfeder entstehen bzw. verstärkt werden.

Zweitens kann es zu verschiedenen Clearance Problemen kommen, bei denen der Pfeil beim Abschuss zu unterschiedlichen Teilen am Bogenfester Kontakt bekommt (Button, Auflage, Klicker oder Bogenfenster). Dies äußert sich ebenfalls in einem Hin- und Herschwingen des Pfeils in der Luft, oftmals allerdings mit höherer Frequenz (englisch: minnowing).

In jedem Fall werden die Gruppierungswerte schlechter und die Blankschäfte verhalten sich anders wie die befiederten Pfeile. Hier setzt wieder die statistische Analyse von Archery Analytics an, um wertvolle Hilfe bei der Diagnose und beim Tuning zu leisten.

Ein sinnvolles Vorgehen für die Pfeilabstimmung ist es, den Spine des Schafts nach einer Pfeilauswahltabelle des Herstellers zu bestimmen und den Schaft anfangs zu lang zu wählen¹¹. Dieser zu weiche Pfeil (= zu niedrige Eigenfrequenz) wird dann stückweise gekürzt, bis die Abstimmung passt. Bei diesem Vorgehen kann man das gewünschte Zuggewicht des Bogens sowie das gewünschte Spitzengewicht und die Befiederung des Pfeils belassen und kommt trotzdem zu einer guten Abstimmung.

⁹ Die Standhöhe sollte jedoch besser nicht zur Pfeilabstimmung verwendet werden, sondern nach Abschnitt a optimiert werden.

¹⁰ Hier dann einen horizontalen Winkel zur Flugbahn

¹¹ Dies geht natürlich nur innerhalb der Grenzen, die durch die Auszugslänge gesetzt sind.

Da der Button einen ähnlichen Effekt auf die Flugbahn des Pfeils hat wie dessen Steifheit, muss man bei der Abstimmung schrittweise vorgehen. Man beginnt mit der Button-Grundeinstellung wie in Abschnitt 4.a beschrieben. Mit Hilfe des Blankschafttests kürzt man den Pfeilschaft schrittweise, bis der Pfeil nur noch etwas zu weich ist. Dann führt man eine genauere Abstimmung des Buttons nach Abschnitt g durch. Anschließend fährt man mit den Blankschafttests fort und kürzt die Schäfte ggfs. weiter, bis die Blankschäfte an derselben horizontalen Position sitzen, wie die befiederten Pfeile. Durch dieses schrittweise Vorgehen vermeidet man, dass man einen vermeintlich zu weichen Pfeil kürzt, obwohl das Problem die falsche Einstellung des Buttons war.

Bereits geübte Schützen sollten die Blankschafttests auf eine Distanz von 30 m machen, ansonsten im Bereich 15-20 m.

Die folgenden Bilder zeigen die Positionen der Blankschäfte vor und nach einer Kürzung des Schafts um 5 mm. Da mit einem Rechtshandbogen geschossen wurde, zeigen die zu weit rechts sitzenden Blankschäfte an, dass sie zu weich sind. Nach Kürzung aller Pfeile um 5 mm wurden die Pfeile steifer und die Blankschäfte sitzen demnach weiter innen (rechtes Bild). So fährt man fort, bis die Gruppenmitte der Blankschäfte mit der Gruppenmitte der befiederten Pfeile übereinstimmt.

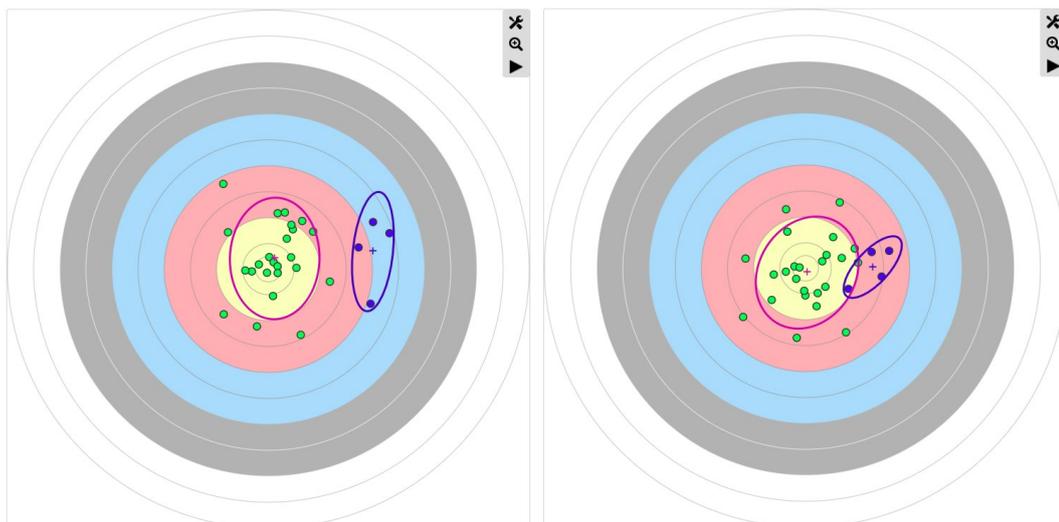


Abbildung 11: Blankschafttest für Pfeillänge

Auch für dieses Beispiel gilt, dass die Signifikanz (= Zuverlässigkeit) der Gruppenmitten dadurch erhöht wird, dass man mehrere Passen überlagert. Macht man das ohne RyngDyng und mit einzelnen Passen, so besteht die Gefahr, dass man den Pfeilschaft nochmal kürzt, obwohl es gar nicht erforderlich wäre!

Kann man wegen der Auszugslänge und der Klicker-Position nicht weiter kürzen, so kann man den Pfeil noch dadurch steifer machen, dass man das Spitzengewicht reduziert, oder man verringert z.B. die Zugkraft des Bogens (allerdings ungern, siehe z.B. Kapitel 6.a).

Hat man einen zu steifen Pfeil erwischt (= zu hohe Eigenfrequenz), so hat man nur eingeschränkte Möglichkeiten, dies zu korrigieren. Man kann

- Das Spitzengewicht erhöhen
- Die Zugkraft des Bogens erhöhen
- Den Bogen durch eine leichtere Sehne schneller machen
- Die Federkraft des Buttonstifts vermindern (falls nicht schon sehr schwach)

Diesen Veränderungen sind jedoch deutlichere Grenzen gesetzt, da man diese Einstellungen eigentlich aus anderen Gründen wählt, und nicht, um die Eigenfrequenz des Pfeils abzustimmen. Im ungünstigsten Fall muss man weichere Schäfte mit höherem Spine-Wert kaufen.

Ist der Pfeil gut abgestimmt, sollte man wie in Kapitel 7.a beschrieben die Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils messen und notieren. Auch kann man auf diese Weise den ganzen Satz Pfeile durchmessen. Neben dem gleichen Gewicht aller Pfeile ist diese Kenngröße wesentlich, um einen gut abgestimmten Satz Pfeile zu haben.

f. Clearance

Ein Clearance Problem tritt auf, wenn das hintere Ende des Pfeils nicht sauber durch das Bogenfenster kommt und irgendwo berührt, z.B. die Pfeilauflage. Diese Probleme müssen unbedingt behoben werden, da ansonsten keine sehr gute Pfeilgruppierung (AGI Wert) erreicht werden kann.

In der Literatur gibt es Hinweise, wie man Clearance Probleme erkennen kann. Z.B. am sogenannten minnowing, d.h. einem schnellen Schwänzeln des Pfeils auf den ersten Metern nach dem Abschuss. Oder, man sprüht das hintere Ende des Pfeils mit einer Pulverfarbe ein und schaut nach dem Schuss, ob irgendwo ein Abrieb zu sehen ist (siehe z.B. (Easton, 2019)).

Mit RyngDyng kann man Clearance Probleme auch durch Analyse des AGI Werts erkennen. Denn Clearance Probleme äußern sich stärker auf kurzer Distanz, als auf größeren Distanzen. Da der AGI entfernungsunabhängig berechnet wird, muss mal lediglich den AGI von Pfeilgruppen auf z.B. 10 m Distanz vergleichen mit dem AGI Wert von Pfeilgruppen auf z.B. 40 m. Zeigt sich, dass der AGI auf der kurzen Distanz schlechter ist (z.B. mehr als 5%), dann kann man von einem Clearance Problem ausgehen.

Lösungsmöglichkeiten für Clearance Probleme sind:

- Leichte Verdrehung der Nocke
- Geringere Höhe der Befiederung
- Center Position des Pfeils weiter nach außen legen

Konnte man auf diese Weise ein Clearance Problem lösen, so sollte die Pfeilabstimmung nach Abschnitt e wiederholt werden.

g. Button

Mit dem Button wird die statische und dynamische Center Position des Pfeils eingestellt. Durch Eindrehen des Buttons in das Mittelstück wird die Ruhelage des Pfeils eingestellt. Durch den federnden Buttonstift wird es dem Pfeil ermöglicht, beim Abschuss die Position etwas nach innen zu verlagern. Das Ziel dieser Einstellungen ist es, den beim Abschuss in sich gestauchten und deswegen schwingenden Pfeil genau auf der Linie zum Zielpunkt zu halten.

Da diese statische und dynamische Center Position des Pfeils ähnliche Effekte auf die Flugbahn des Pfeils haben wie dessen Steifheit bzw. die Beschleunigungszeit im Bogen, sollte man die Button Einstellungen nicht mit Blankschafttests durchführen. Sonst kann es dazu kommen, dass z.B. der Pfeil die falsche Eigenschwingungsfrequenz hat, und dieser Fehler durch eine – ebenso falsche - Buttoneinstellung „korrigiert“ wird. Die Blankschafttests schauen dann zwar gut aus, jedoch ist das Gesamtsystem nicht richtig abgestimmt und optimal hohe Gruppierungswerte (AGI) werden nicht erreicht. Es kann durch diese FehlAbstimmung sogar zu Clearance Problemen kommen, obwohl die Blankschäfte dieses Problem nicht anzeigen.

Die beste Methode für das Tuning des Buttons ist der Test nach Berger¹², siehe z.B. (Beck & Meine, 2014), (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010).

In den üblichen Darstellungen des Bergertests wird davon ausgegangen, dass man aus unterschiedlichen Entfernungen je einen befiederten Pfeil schießt. Da man bei diesem Vorgehen ein großes Problem mit der unzureichenden statistischen Signifikanz hat, entwickelte Archery Analytics den *statistischen Bergertest*. Die Auswertung basiert hier auf der statistischen Analyse einer beliebigen Anzahl von Pfeilen pro Entfernung.

Zunächst wird eine Zielmarkierung im oberen Bereich der Scheibe angebracht. Beim statistischen Bergertest ist dies ein blaues Kreuz, das von RyngDyng erkannt wird.



Abbildung 12: Blaues Zielkreuz für den statistischen Bergertest

Das Visier wird auf etwa 10 m eingestellt. Dann schießt man eine beliebige Anzahl Pfeile aus den Entfernungen 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 40 m, wobei das Visier immer auf das Zielkreuz gehalten wird. Auf kürzeren Distanzen genügen einer oder wenige Pfeile, aus größeren Entfernungen sollte man mehr Pfeile schießen, um die Zuverlässigkeit des Tests zu erhöhen. Man beendet den Test, wenn die Pfeile aufgrund der großen Entfernung am unteren Rand der Scheibe stecken.

Die RyngDyng App stellt das Ergebnis eines statistischen Bergertests so dar:

¹² Alternative Bezeichnung: „Test nach Gabriel“, oder im Englischen: „walk-back test“

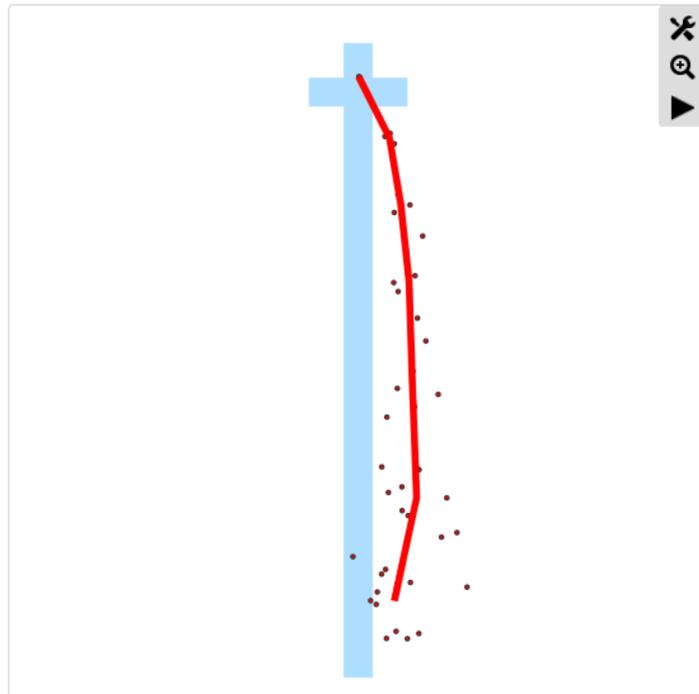


Abbildung 13: Bergertest Ergebnis 1

Die oberen Pfeile gehören zu den kurzen Distanzen. Dort wurden weniger Pfeile pro Entfernung geschossen. Je weiter unten die Pfeile sitzen, desto größer war die Entfernung. Bei größeren Entfernungen wurden mehr Pfeile geschossen.

Eine nach rechts gekrümmte Kurve wie in *Abbildung 13: Bergertest Ergebnis 1*, die unten wieder in Richtung Mitte zurückführt, deutet auf eine falsche Center Position des ruhenden Pfeils hin. Beim Rechtshandbogen muss der Pfeil etwas mehr nach außen gebracht werden, beim Linkshandbogen etwas mehr nach innen. Man sollte den Button lediglich um $1/8 - 1/4$ Umdrehung verändern und dann wieder testen.

Wäre die rote Linie eine nach links gekrümmte Kurve, so wäre es umgekehrt: Beim Rechtshandbogen muss der Pfeil etwas mehr nach innen gebracht werden, beim Linkshandbogen etwas mehr nach außen.

Ein anderes Ergebnis des Bergertests zeigt das folgende Bild:

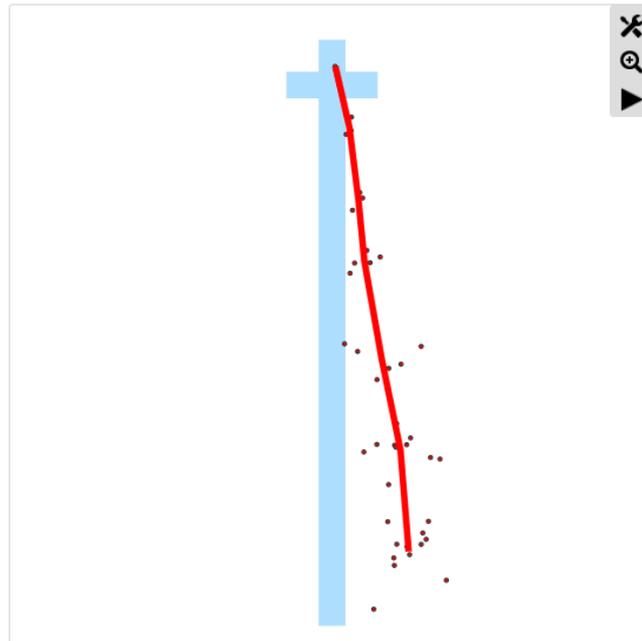


Abbildung 14: Bergertest Ergebnis 2

Eine schräg nach rechts unten laufende gerade Linie deutet auf eine falsche Wahl der Härte der Feder des Buttonstifts hin. Beim Rechtshandbogen muss die Feder härter gemacht werden, beim Linkshandbogen weicher.

Läuft die Linie schräg nach links unten, so muss beim Rechtshandbogen die Feder weicher gemacht werden, beim Linkshandbogen härter.

Beide Fehler – die falsche Center Position und eine falsche Härte der Feder – können sich überlagern. Das folgende Bild zeigt diese Überlagerung:

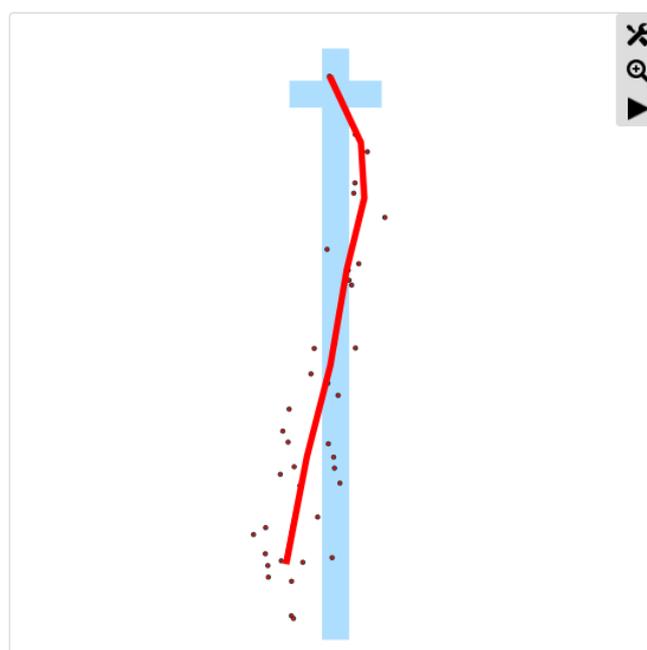


Abbildung 15: Bergertest Ergebnis 3

Die rote Linie verläuft zunächst nach rechts um dann linear nach links unten zu verlaufen. Dies deutet sowohl auf eine falsche Center Position als auch eine falsche Härte der Feder hin. Um nicht zu viel Einstellungen auf einmal zu verändern, sollte in diesem Fall beim

Rechtshandbogen die Feder weicher gemacht werden und dann wird der Bergertest wiederholt (beim Linkshandbogen umgekehrt, d.h. mit einer härteren Einstellung für die Feder).

Stimmt sowohl die ruhende Center Position des Pfeils als auch die Härte der Feder des Buttonstifts, schaut das Ergebnis der Bergertests so aus:

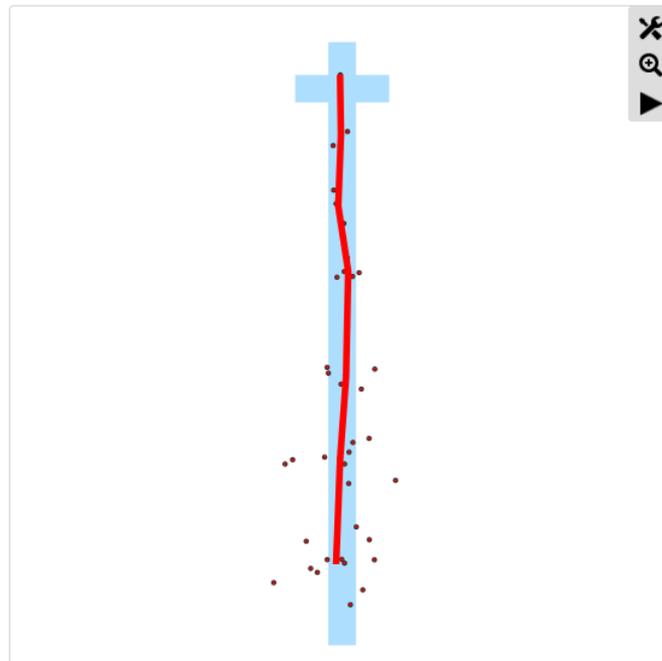


Abbildung 16: Bergertest Ergebnis ok

Man sieht an diesem Bild auch sehr gut, dass die Durchführung des Berger Tests mit einem Pfeil pro Entfernung leicht zu einer Fehldiagnose führen kann. Nur durch die statistische Berechnung der roten Linie erkennt man, dass der Button optimal eingestellt ist.

h. Fine Tuning

Wurden die Einstellungen gemäß den vorangegangenen Abschnitten a - g durchgeführt, so kann man einzelne Parameter in einem zweiten Durchgang weiter optimieren. Hierzu werden ausschließlich Gruppierungstests bzw. Optimierungen der normierten Streuungen durchgeführt.

Der erste Schritt ist die genaue Vermessung der optimalen Standhöhe. Man nimmt die bereits ermittelte Standhöhe als Ausgangspunkt und variiert diese Standhöhe nach oben und unten in kleinen Schritten von 0,5 mm. Damit eine große statistische Signifikanz (Zuverlässigkeit) erreicht wird, sollten viele Pfeile (z.B. 24) pro Standhöhe geschossen werden. Die Standhöhe mit dem höchsten AGI wird behalten.

Analog verfährt man mit der Nockpunktüberhöhung, dort liegt der Fokus allerdings auf der normierten vertikalen Streuung. Die Nockpunktüberhöhung wird in kleinen Schritten von 0.5 mm nach oben und unten variiert und es wird die vertikale normierte Streuung gemessen. Würde man mit dieser so ermittelten optimalen Nockpunktüberhöhung einen Blankschafttest durchführen könnte man in vielen Fällen feststellen, dass die Blankschäfte etwas zu tief sitzen. Das ist aber in Ordnung, wenn die vertikale normierte Streuung dadurch besser wird.

Der dritte Schritt des Fine Tunings betrifft die Härte der Feder des Buttonstifts. Hier liegt der Fokus auf der horizontalen normierten Streuung. Die Härte der Feder des Buttons verändert man in sehr kleinen Schritten nach beiden Richtungen und ermittelt die beste horizontale normierte Streuung. Auch durch diese Tuning Maßnahme kann eine Einstellung resultieren, für die der Blankschafttest etwas zu harte Pfeile anzeigt. Wiederum ist jedoch der bessere Wert für die horizontale Streuung ausschlaggebend.

Weitere Möglichkeiten des Fine Tunings betreffen die Befiederung. Hier kann man den Anstellwinkel oder die Position der Befiederung variieren und den besten AGI auf unterschiedlichen Distanzen suchen. Man sollte dabei allerdings nicht die bereits optimierte Abstimmung der Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils wesentlich verändern. Hat man eine Veränderung der Position der Federn vorgenommen, so sollte man zur Kontrolle die Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils überprüfen (siehe Anhang Kapitel 7.a).

5. Typische Schießfehler

Die folgenden Ausführungen zeigen, wie sich typische Fehler in der Schießtechnik auf die statistischen Kenngrößen auswirken. Diese Analysen setzen allerdings voraus, dass das Material sehr gut eingestellt ist, denn sonst überlagern sich Einstellungsfehler mit den Schießfehlern und eine saubere Trennung wird sehr schwierig sein.

Gerade bei der Analyse von Schießfehlern ist es sehr wichtig, ausreichend viele Pfeile (d.h. mehrere Passen) in die Analyse mit einzubeziehen, um eine hohe Zuverlässigkeit (Signifikanz) für diese Analysen zu bekommen.

a. Instabiler Anker

Ein (vertikal) instabiler Anker am Kinn bedeutet, dass das hintere Ende des Pfeils keinen konstanten vertikalen Abstand zum zielenden Auge hat. Das kann z.B. durch mehr oder weniger Anpressdruck der Hand am Kinn / Wangenknochen hervorgerufen werden, oder dadurch, dass die Zähne beim Schuss nicht genau und immer gleich aufeinander liegen. Auch die Form der Zughand (z.B. die Lage des Daumens) kann einen instabilen Anker verursachen.

Ein instabiler Anker verändert von Schuss zu Schuss den Anstellwinkel des Pfeils beim Abschuss, ähnlich, wie wenn man das Visier in der Höhe variieren würde. Die Folge ist eine höhere vertikale Streuung.

Ein Merkmal dieser Art von Fehler ist, dass die entfernungsunabhängige *normierte vertikale Streuung* (siehe Abschnitt 3.d) nicht oder kaum von der Distanz abhängt. Denn dieser Fehler ist in erster Linie eine Ungenauigkeit im vertikalen Abschusswinkel, und die normierte vertikale Streuung ist ein Maß eben für diese Winkelungenauigkeit.

Stellt man also fest, dass die vertikale Streuung zu hoch ist (also z.B. größer als eine Ringbreite, je nach persönlichem Anspruch) und gleichzeitig die normierte vertikale Streuung im Bereich 18 – 60 m weitgehend unabhängig von der Distanz ist, so sollte man prüfen, ob der Anker stabil ist oder nicht.

b. Lösefehler

Lösefehler haben (mindestens) zwei Dimensionen:

Zum einen kann der Lösevorgang mal schneller, mal langsamer erfolgen. Beispielsweise, indem einmal das spontane Entspannen der Fingermuskulatur gut gelingt, das andere Mal eher ein bewusstes Öffnen der Finger erfolgt. Die Folge ist eine ungleichmäßige Abschussgeschwindigkeit des Pfeils. Denn durch das nicht-entspannte Nachlassen der Finger

wird zuerst der Auszug etwas verringert, bevor die Sehne frei wird. Dadurch wird weniger Energie auf den Pfeil übertragen als beim spontanen Entspannen.

Zum anderen kann der seitliche Impuls auf die Sehne, der bei jedem Finger-Release (Tab, Handschuh) unvermeidbar ist, mal größer und mal kleiner sein. Dies drückt sich dann in einer horizontalen Streuung der Pfeilpositionen aus.

Selbstverständlich können sich auch beide Fehler überlagern.

Der erste Fehler mit der ungleichmäßigen Abschussgeschwindigkeit des Pfeils lässt sich vergleichsweise einfach diagnostizieren: Eine ungleichmäßige Abschussgeschwindigkeit wirkt sich auf größeren Distanzen stärker aus als auf kurzen (siehe Anhang Kapitel 7.b). Denn eine stark bogenförmige Flugbahn ist viel empfindlicher gegenüber Schwankungen in der Abschussgeschwindigkeit als eine weitgehend gerade Flugbahn auf kurzer Distanz. Daher ist bei dieser Art Fehler die *normierte vertikale Streuung* bei größeren Distanzen größer als bei kurzen Distanzen. Findet man also diesen Zusammenhang in der statistischen Analyse vor, so sollte man sich den Lösevorgang im Hinblick auf das Entspannen der Finger genauer anschauen.

Variiert der seitliche Impuls auf die Sehne beim Lösen, so wird die horizontale Streuung größer. Da es mehrere Ursachen für horizontale Streuungen geben kann, ist die sichere Diagnose dieser Ursache nicht ganz so einfach.

Eine Möglichkeit ist es, befiederte Pfeile mit Blankschäften zu vergleichen. Denn der ungleichmäßige seitliche Sehnenimpuls bewirkt, dass die Pfeile nach dem Abschuss einen kleinen horizontalen Winkel zur Flugbahn haben. Damit tritt ein ähnlicher Effekt auf, wie bei einer nicht gut abgestimmten Eigenfrequenz des Pfeils (siehe Abschnitt 4.e). Der seitliche Winkel des Pfeils gegenüber der Flugbahn wird durch die Befiederung schneller korrigiert als beim Blankschaft. Dadurch erfährt der Blankschaft eine größere seitliche Drift. Diese Drift ist jedoch bei jedem Schuss mal stärker und mal schwächer, wenn der seitliche Impuls beim Lösen variiert.

Schießt man also eine größere Anzahl an befiederten und unbefiederten Pfeilen, so werden bei dieser Art von Lösefehler die Blankschäfte eine größere horizontale Streuung aufweisen als die befiederten Pfeile.

Das folgende Bild zeigt je 18 befiederte (grün) und unbefiederte Pfeile (blau), geschossen aus 18 m auf eine 40er Auflage. Die Streuellipse der Blankschäfte weist eine größere horizontale Breite auf. Daher ist der Befund hier ein ungleichmäßiger seitlicher Sehnenimpuls beim Lösen.

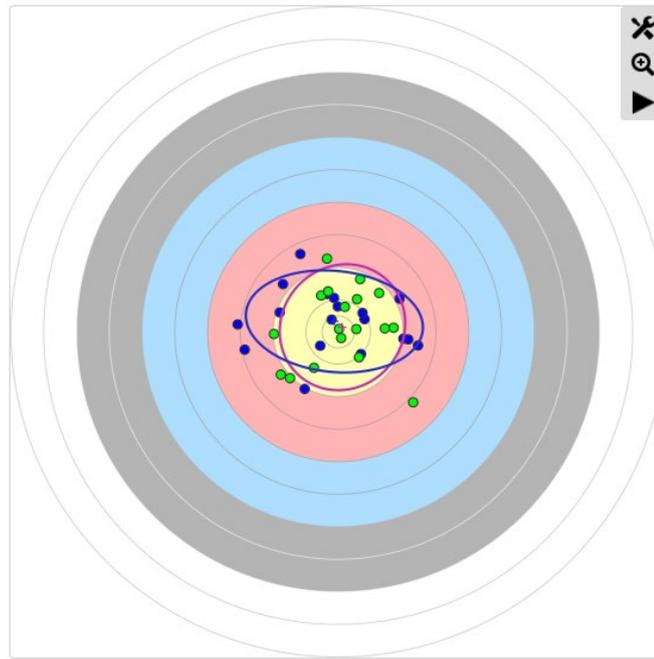


Abbildung 17: horizontale Streuung bei Blankschäften

c. Fingerzug ungleichmäßig

Beim Finger-Release wird die Sehne üblicherweise mit 3 Fingern gehalten, die Nocke des Pfeils befindet sich zwischen den beiden oberen. Damit kann insbesondere der dritte, unterste Finger einen störenden Einfluss auf die ausgezogene Sehne haben.

Zieht man mit den unteren Fingern stärker an der Sehne, so ändert sich zum einen die Kraft, mit der die Sehne gehalten wird, bei ansonsten gleicher Auszugslänge. Es ist etwas mehr Energie im ausgezogenen Bogen gespeichert, die dann auf den Pfeil übertragen wird. Insbesondere der untere Wurfbarm wird dadurch etwas mehr angezogen.

Zum anderen wird das Lösen etwas anders ablaufen, im Vergleich zu einer verminderten Zugkraft in den unteren Fingern. Die Sehne wird durch die angespannteren unteren Finger einen zusätzlichen seitlichen Impuls erhalten.

Im Ergebnis bedeutet das, dass der Pfeil etwas mehr Energie und damit eine höhere Abschussgeschwindigkeit bekommt, und gleichzeitig einen etwas größeren seitlichen Impuls.

Variiert nun die Stärke des unteren Fingerzugs von Schuss zu Schuss, wird das zu einer Überlagerung einer höheren vertikalen Streuung mit einer höheren horizontalen Streuung führen, aber in charakteristischer Weise, wie das nachstehende Bild einer Pfeilgruppe aus 36 Pfeilen eines Rechtshandschützen¹³ zeigt:

¹³ Bei Linkshandschützen wäre die Ellipse in die andere Richtung geneigt

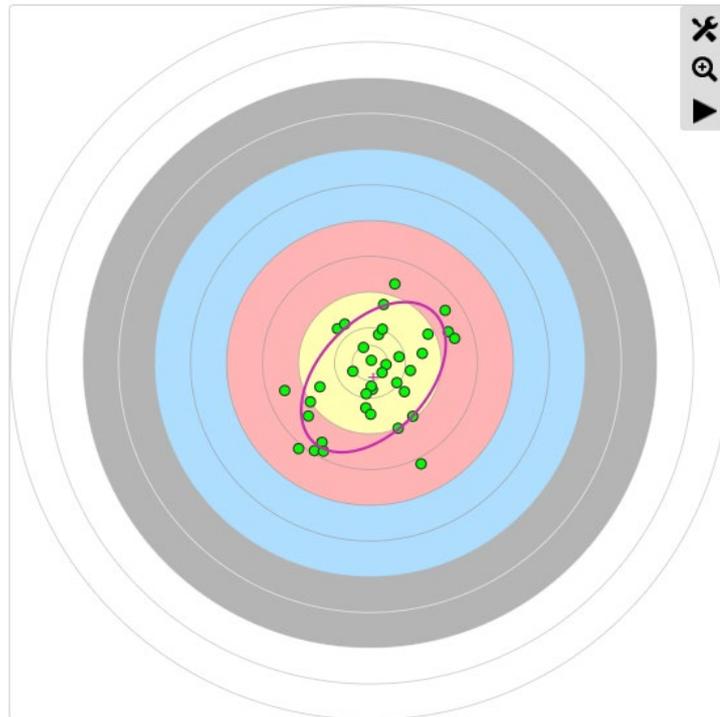


Abbildung 18: ungleichmäßiger Fingerzug

Je stärker der untere Fingerzug war, desto höher war die Geschwindigkeit der Pfeile und desto höher landen sie im Ziel. Gleichzeitig wird beim Lösen der seitliche Impuls auf die Sehne größer (nach links), so dass die Pfeile beim Abschuss einen leichten Anstellwinkel nach rechts bekommen. Das Ergebnis ist eine gedrehte Streuellipse, die einen Verlauf der Pfeilgruppe von links unten nach rechts oben markiert.

Um diesen Fehler in der statistischen Analyse mit hoher Zuverlässigkeit erkennen zu können, sollten sehr viele Pfeile als eine Gruppe durch Überlagerung mehrerer Passen dargestellt werden. Die Distanz, auf die geschossen wird, sollte mindestens 50 m betragen, damit die vertikale Streuung sich gut zeigt.

d. Sehnenschatten nicht konstant

Der Sehnenschatten ist die „Kimme“ des Bogenschützen, allerdings wird die Sehne aufgrund des kurzen Abstands zum zielenden Auge nur sehr diffus wahrgenommen – daher der Name „Sehnenschatten“. Es ist eine große Herausforderung für alle Schützen, diesen diffusen Sehnenschatten immer wieder in genau dieselbe Position relativ zum Visiertunnel zu bringen.

Variiert nun die Position des Sehnenschattens von Schuss zu Schuss, entspricht dies einer Variation des horizontalen Abschusswinkels. Ähnlich, wie wenn man von Schuss zu Schuss den Visiertunnel seitlich variieren würde.

Dieser Fehler ist leicht dadurch zu erkennen, dass die *normierte horizontale Streuung* unabhängig von der Distanz ist, auf die geschossen wird. Denn die normierte horizontale Streuung drückt genau solche Winkelungenauigkeiten aus. Will man also seine horizontale Streuung verringern und stellt fest, dass die normierte horizontale Streuung unabhängig von der Distanz ist, sollte man an der konstanten Position des Sehnenschattens arbeiten.

Ein anderer Fehler in Bezug auf den Sehnenschatten sind veränderliche Lichtverhältnisse, denn die Wahrnehmung des Sehnenschattens hängt recht stark vom Lichteinfall ab.

Ändert sich die Lichtsituation z.B. durch einen Wechsel von Sonne zu Schatten oder zu Wolken, oder die Beleuchtung in einer Halle wird geändert, oder der Lichteinfall durch die Oberlichter in einer Halle verändert sich, dann wird sich das bei sehr vielen Schützen dadurch bemerkbar machen, dass die Pfeilgruppen seitlich „wegdriften“. Die horizontale Streuung wird sich dabei gar nicht oder nur sehr wenig ändern, wenn die Lichtverhältnisse sich nicht ständig von Pfeil zu Pfeil ändern, sondern eher einmalig bzw. langfristig.

Man erkennt das Problem also dadurch, dass man die Gruppenmitten von Passe zu Passe über einen längeren Zeitraum analysiert, und so dieses seitliche Wegdriften der Gruppen sehen kann. Die horizontale Streuung sollte sich dabei von Passe zu Passe kaum ändern.

Die RyngDyng App unterstützt die Analyse der Lichtverhältnisse, indem zum einen die Schussrichtung zu jeder Passe gespeichert wird, und zum anderen die genaue Uhrzeit jedes Pfeils festgehalten wird. So ist die Information, in welchem Winkel die Sonne bei jeder Passe stand, abrufbar. Auch im Freitextfeld kann in den Einstellungen eine Bemerkung zu den Lichtverhältnissen z.B. in einer Halle hinterlegt werden. In der späteren Analyse steht diese Information dann zur Verfügung.

e. Druckpunkt am Griff ungleichmäßig

Durch eine nicht konstante Stellung der Bogenhand wird der Punkt des höchsten Drucks zwischen Hand und Griffschale nicht immer an derselben Stelle sein. Einmal wird dieser Druckpunkt höher, einmal tiefer liegen.

Wie in (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010) S. 647 ausgeführt, hat eine zu hohe oder zu tiefe Lage des Druckpunkts beim Abschuss einen Schleudereffekt der Hand zu Folge. Die Wirkung dieses ungleichmäßigen Druckpunkts auf den Bogen gleicht einer Veränderung des Tillers. Liegt der Druckpunkt zu hoch, wird der obere Wurfarm etwas mehr angespannt, liegt er zu tief, der untere Wurfarm.

Ein ungleichmäßiger Druckpunkt wirkt sich also so aus, als ob man von Schuss zu Schuss den Tiller leicht verändert, und damit auch die Nockpunktüberhöhung. Damit kann dieser Fehler daran erkannt werden, dass er sich auf Blankschäfte anders auswirkt wie auf befiederte Pfeile, vergleiche Abschnitt 4.c. Die Folge wird eine größere vertikale Streuung der Blankschäfte im Vergleich zu den befiederten Schäften sein.

Das folgende Bild zeigt je 18 befiederte (grün) und unbefiederte Pfeile (blau), geschossen aus 18 m auf eine 40er Auflage. Die Streuellipse der Blankschäfte in blau weist eine größere Höhe auf als die Streuellipse der befiederten Pfeile. Daher ist der Befund hier ein ungleichmäßiger Druckpunkt am Griff.

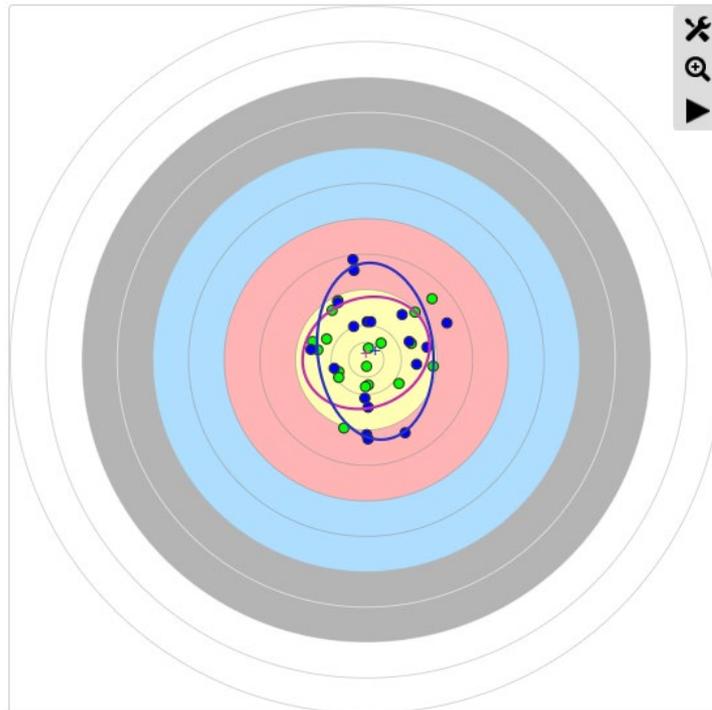


Abbildung 19: ungleichmäßiger Druckpunkt am Griff

f. Zu wenig Körperspannung

In der Klicker-Endphase des Schussablaufs muss eine Vielzahl von Muskelgruppen kontrolliert werden. Diese erstrecken sich über den gesamten Körper, siehe (Haidn & Weineck, 2. Auflage, 2010) S.63. Subjektiv empfinden die Schützen dies als weiträumige „Körperspannung“.

Je nach Verfassung gelingt es Schützen mehr oder weniger gut, die Körperspannung aufrecht zu erhalten. Insbesondere nach einer größeren Anzahl geschossener Pfeile wird sich bei vielen Schützen ein Nachlassen bemerkbar machen. Lässt die Körperspannung nach, sei es aufgrund von Ermüdung oder aufgrund nachlassender Konzentration, so wirkt sich dies auf das Schießergebnis aus.

Auch wenn man bei jedem Schuss den Pfeil „durch den Klicker“ zieht, so wird der Pfeil bei ungenügender Körperspannung dennoch eine geringere Geschwindigkeit beim Abschuss erhalten, als bei guter Körperspannung.

Man kann z.B. beobachten, dass unmittelbar nach dem Klicken - aber noch vor dem eigentlichen Lösen - bereits eine Entspannung beteiligter Muskelgruppen erfolgt und damit der Auszug sich etwas verringert. Dies kann durch zu wenig Gegendruck im Bogenarm oder durch nachlassende Spannung in Rücken und Schulter geschehen.

Man löst beim Klicken zuerst mental, entspannt dadurch unwillkürlich einige stark beanspruchte Muskeln, und dann erst löst man mit den Fingern.

Die Folge der verminderten Pfeilgeschwindigkeit ist ein zu tiefes Auftreffen auf der Scheibe, insbesondere bei großen Distanzen ab 60m. Variiert die Körperspannung, indem man es immer mal wieder schafft, mental gegen die Ermüdung anzukämpfen, so wird die vertikale Position des Pfeils schwanken.

Ein Nachlassen der Körperspannung äußert sich in den Pfeilgruppen zum einen dadurch, dass die Gruppenmitten mit zunehmender Anzahl geschossener Pfeile nach unten wandern.

Gleichzeitig kann es zu einer Vergrößerung der vertikalen Streuung kommen, wenn es durch mentalen Fokus auf dieses Problem immer mal wieder gelingt, die Spannung zu erneuern. Je größer die Distanz, auf die geschossen wird, umso deutlicher werden diese Effekte sich zeigen.

Die folgende Serie von Pfeilgruppen aus der Überlagerung mehrerer aufeinanderfolgenden Passen auf einer 122er Auflage auf 70m Distanz zeigt diesen Effekt der abnehmenden Körperspannung von links nach rechts:

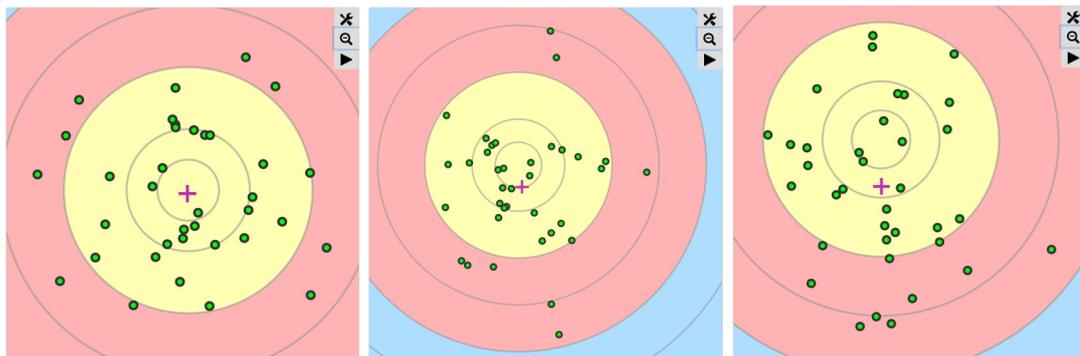


Abbildung 20: nachlassende Körperspannung

Die vertikalen Verschiebungen¹⁴ und Streuungen dieser Pfeilgruppen sind

	links	Mitte	rechts
vertikale Verschiebung	- 0,4 cm	-2,9 cm	-4,9 cm
vertikale Streuung	13,2 cm	15,7 cm	16,4 cm

Zusätzlich zu dieser vertikalen Verschiebung und Streuung kann sich auch die horizontale Streuung vergrößern, wenn z.B. durch nachlassende Konzentration sich ein weiterer Fehler wie in Abschnitt *b Lösefehler* oder Abschnitt *d Sehenschatten nicht konstant* hinzugesellt.

Durch die Überlagerung der zurückliegenden 3-5 Passen kann man schon sehr frühzeitig und mit hoher Zuverlässigkeit feststellen, dass die vertikale Verschiebung und / oder Streuung sich verändert. Diese Information wird sehr viel zuverlässiger sein, als man das durch Beobachten einzelner Passen feststellen könnte. Es ist möglich, durch fortlaufende Auswertung ein Frühwarnsignal aus den vergangenen Passen zu generieren, noch bevor man sich dieses Problems bewusst wird.

Analysiert man Turnierdaten im Nachgang so wird man feststellen können, in welcher Phase des Wettbewerbs sich die ersten Anzeichen für eine nachlassende Körperspannung zeigten.

6. Spezielle Tests

a. AGI bei zunehmender Distanz

Der *Arrow Grouping Indicator AGI* (siehe Abschnitt 3.f) ist eine Kennzahl, die die Qualität der Pfeilgruppierung ausdrückt und nicht von der Distanz abhängt, auf die geschossen wird.

Umgekehrt bedeutet dies, dass wenn diese Kennzahl – bei sonst konstantem Schuss – von der Entfernung abhängt, man daraus wichtige Schlüsse ziehen kann.

¹⁴ Negative Werte für Verschiebungen bedeuten eine Verschiebung nach unten

Um diesen Test durchzuführen, schießt man aus 10, 20, ..., 90 m (bzw. bis zur maximalen Entfernung seiner Wettkampf Klasse) mindestens je 30 Pfeile. Dann vergleicht man die AGI Werte dieser Distanzen.

Stellt man fest, dass auf 10 m der AGI Wert kleiner (d.h., die Gruppierung schlechter) als auf 20 und 30 m ist, so könnte ein Clearing Problem dafür verantwortlich sein (siehe Abschnitt 4.f)

Stellt man fest, dass auf der größten Distanz die Gruppierung schlechter, d.h. der AGI Wert abnimmt, so muss man noch zwei Fälle unterscheiden.

1. Fall: Sowohl die horizontale normierte Streuung als auch die vertikale normierte Streuung haben zugenommen. Die Streuellipse ist also von derselben eher runden Form wie auf den kurzen Distanzen.

2. Fall: Nur die vertikale normierte Streuung hat zugenommen, nicht die horizontale. Die Streuellipse wird also senkrecht in die Länge gestreckt.

Im 1. Fall hat man es mit einer allgemeinen, überproportionalen Zunahme der Streuung bei großen Entfernungen zu tun. Die wahrscheinliche Ursache ist ein zu großer Drall der Pfeile, so dass sie im letzten Abschnitt „ins Trudeln“ geraten. In diesem Fall sollte man den Anstellwinkel der Federn verringern und erneut testen. Zur Funktion des Dralls generell, siehe Anhang Kapitel 7.c.

Im 2. Fall nimmt lediglich die vertikale Streuung überproportional zu. Bei sehr großen Entfernungen wird man oftmals eine etwas größere vertikale normierte Streuung haben, denn die Flugbahn des Pfeils wird immer höher. Ungenauigkeiten beim Lösen oder aufgrund nachlassender Körperspannung wirken sich bei stark bogenförmigen Flugbahnen stärker aus als bei den annähernd geraden Flugbahnen auf kurzen Distanzen, siehe Anhang Kapitel 7.b.

Ist man mit seiner vertikalen Streuung auf kurzen Distanzen einigermaßen zufrieden¹⁵, jedoch nicht mit der vertikalen Streuung auf großer Distanz, so sollte man versuchen, das Zuggewicht zu erhöhen und die Flugbahn dadurch flacher zu halten. Leider wird man in diesem Fall nicht um eine Neuabstimmung der Pfeile wie in Abschnitt 4.e beschrieben herumkommen. Da die Pfeile bei höherem Zuggewicht steifer gemacht werden müssen, besteht die Möglichkeit, dies durch Kürzung des Schafts zu erreichen, sofern Reserve in der Pfeillänge drin ist. In keinem Fall sollte man versuchen, den zu weichen Pfeil durch den Button „steifer“ zu machen, siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 4.e.

¹⁵ Eigentlich ist man nie zufrieden ...

7. Auswahl eines Satzes von gut abgestimmten Pfeilen

Auch bei guter Abstimmung der Pfeile auf den Bogen bleiben kleine Unterschiede zwischen den einzelnen Pfeilen bestehen. Speziell für Wettkämpfe ist es wichtig, aus den z.B. 12 abgestimmten Pfeilen diejenigen 6 auszuwählen, die eine gute Gruppierung aufweisen, also einen hohen AGI.

Bevor man jedoch anfängt die AGI Werte für einzelne Pfeile auszuschießen, sollte man eine Vorauswahl aufgrund von einfachen Messwerten treffen:

1. Gleiches Gewicht
2. Gleiche Eigenfrequenz

Mit einer feinen Waage kann man das Gewicht auf 0.1 grain genau messen und bei Bedarf das Gewicht einzelner Pfeile korrigieren, indem man z.B. mehr oder weniger Klebstoff in die Spitze einbringt, bzw. an der Befiederung mehr oder weniger Fixierband.

Allerdings verändert man durch dadurch auch die Masseverteilung und damit die Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils (siehe Anhang 8.a oder https://www.archery-analytics.com/de/public/support/arrow_frequency).

Zum einen muss diese Frequenz einen bestimmten Wert haben, damit der Pfeil zum Bogen passt. Zum anderen sollten alle Pfeile dieselbe Frequenz haben, damit sie eine enge Gruppe bilden können. Der Grund dafür ist schnell erklärt:

Die Pfeilspitze schwingt direkt nach dem Abschuss hin und her, je nach Durchbiegung des Schafts etwa 2 cm. Auf 18 m Distanz macht der Pfeil dann ungefähr 18 volle Schwingungen. Kommt nun ein Pfeil so an, dass die Spitze beim Auftreffen gerade nach links schwingt, der nächste Pfeil schwingt aber beim Auftreffen nach rechts, dann haben ansonsten identisch geschossene Pfeile vorne eine Differenz von 2 cm – nur durch die unterschiedliche Phase der Eigenschwingung!

Rechnet man das weiter durch so stellt man fest, dass alle Pfeile eine maximale Abweichung von 0.1 Hz haben sollten, wenn man die Pfeilschwingung auf 18 m ‚in Phase‘ halten möchte.

Deswegen ist eine genaue Messung der Pfeilfrequenz nach Anhang 8.a erforderlich. Will man das Gewicht eines Pfeils angleichen, so gilt folgende Regel: Mehr Masse in der Spitze verringert die Eigenfrequenz leicht, mehr Masse an der Befiederung / Nocke verringert die Eigenfrequenz stark.

Man muss also beim Abstimmen beides gleichzeitig im Auge behalten: Die Veränderung der Masse und die gleichzeitige Veränderung der Eigenfrequenz. Unterstützung bietet dabei das Tool https://www.archery-analytics.com/de/public/support/arrow_frequency, das die Veränderung der Frequenz bei Veränderung der Masse an Spitze oder hinterem Ende berechnen kann.

8. Anhang

a. Eigenschwingungsfrequenz von Pfeilen

Für die Abstimmung des Pfeils auf einen Bogen ist es wesentlich, dass die Eigenschwingungsfrequenz zur Beschleunigungszeit im Bogen passt. Der Pfeil sollte 1 ¼ Schwingungen durchlaufen, bis die Federn auf Höhe der Pfeilaufgabe sind. So wird sichergestellt, dass der maximale Freiraum beim Passieren des Bogenfensters gegeben ist.

Es ist möglich, die voraussichtlich benötigte Eigenschwingungsfrequenz des Pfeils anhand einiger Parameter des Pfeils und des Bogens abzuschätzen. Diese sind

- dl : Die effektive Auszugslänge in m (= wie weit die Sehne nach hinten gezogen wird = Abstand Pfeilspitze zur Klickerkante beim eingekockten Pfeil)
- dw : Das Zuggewicht bei Vollauszug in Newton (= Zuggewicht in lbs \cdot 0,454 \cdot 9,81)
- bh : Die Standhöhe in m
- fd : Der Abstand des höchsten Punktes der Befiederung vom Boden der Nocke in m
- am : Die Masse des Pfeils in kg

Dann sollte der Pfeils ungefähr eine Eigenschwingungsfrequenz in Höhe von

$$f = \frac{1,25 \cdot \sqrt{dl \cdot dw \cdot 0,8}}{\left(\frac{\pi}{2} \cdot dl + bh - fd\right) \cdot \sqrt{am}}$$

haben. Beispiel:

- $dl = 47 \text{ cm} = 0,47 \text{ m}$
- $dw = 34 \text{ lbs} = 34 \cdot 0,454 \cdot 9,81 = 151,4 \text{ N}$
- $bh = 230 \text{ mm} = 0,23 \text{ m}$
- $fd = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$
- $am = 19 \text{ g} = 0,019 \text{ kg}$

ergibt eine Eigenschwingungsfrequenz von $f = 74 \text{ Hz}$.

Diese Sollfrequenz kann man nun mit der tatsächlichen Frequenz des Pfeils vergleichen. Diese bestimmt man wie folgt: Man verwendet eine App zum Stimmen von Musikinstrumenten, wie z.B. [gStrings](#) und misst damit die Eigenschwingungsfrequenz durch Anschlagen des Pfeils.

Dazu hält man den Pfeil locker zwischen zwei Fingern etwa 8 cm unterhalb der Befiederung und lässt ihn mit der Spitze nach unten hängen. Dann schlägt den Pfeil im unteren Drittel gegen eine Tischkante. Man kann nun die Fingerposition etwas nach oben und unten variieren, bis der Pfeil am stärksten schwingt. Damit hat man dann den oberen Schwingungsknotenpunkt gefunden.

Nun schlägt man den Pfeil nochmal stärker an und hält die Mitte des Schafts direkt vor das Mikrophon des Handys mit der Stimm-App. Diese zeigt dann die Schwingungsfrequenz des Pfeils an.

Auf diese Weise kann man ermitteln, ob der Pfeil im Bereich der erwarteten Frequenz ist. Ist die Frequenz zu niedrig, ist der Pfeil zu weich. Ist die Frequenz zu hoch, ist der Pfeil zu steif.

Dieses Verfahren gibt jedoch nur einen Anhaltspunkt, denn die Formel oben für die Berechnung der erforderlichen Frequenz ist eine Näherungslösung für eine lineare Kraft-Weg-Kurve des Bogens.

Eine genauere Berechnung für eine tatsächlich gemessene Kraft-Weg-Kurve erfordert die Hilfe eines Computers. Diese Berechnung haben wir auf unserem Server implementiert und stellen sie allen interessierten Bogenschützen unter diesem Link zur Verfügung: https://www.archery-analytics.com/de/public/support/arrow_frequency. Dort kann auch getestet werden, ob der Pfeil zum Bogen passt und welche Maßnahmen zu einer besseren Übereinstimmung führen.

Mit den oben angegebenen Parametern ist es übrigens auch möglich, eine Abschätzung für die Pfeilgeschwindigkeit in m/s zu erhalten:

$$v = \sqrt{\frac{dl \cdot dw \cdot 0,8}{am}}$$

Für unser Beispiel ergibt sich $v = 54,7 \frac{m}{s} = 197 \frac{km}{h}$. Der Faktor 0,8 in der Formel steht für den typischen Wirkungsgrad eines Recurve Bogens in Höhe von 80%. Dieser Anteil der Energie geht in den Pfeil, 20% verbleiben im Bogen.

Mit der Geschwindigkeit v lässt sich die Formel für die Eigenschwingungsfrequenz auch einfacher schreiben als

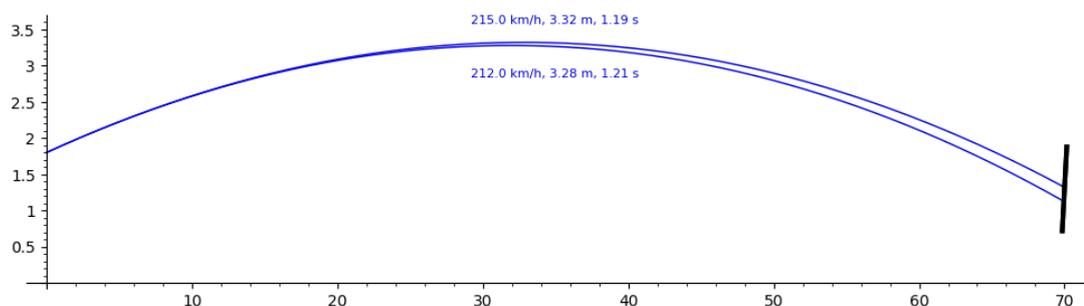
$$f = \frac{1,25 \cdot v}{\left(\frac{\pi}{2} \cdot dl + bh - fd\right)}$$

b. Normierte vertikale Streuung auf großen Distanzen

In diesem Abschnitt wird dargelegt, wie sich die *normierte vertikale Streuung* auf großen Distanzen von den kurzen Distanzen unterscheiden kann.

Das verwendete mathematische Modell für die Berechnung der Flugbahnen berücksichtigt den Luftwiderstand des Pfeils in Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit und in Abhängigkeit von seiner Eigenschwingung. Die Eigenschwingung führt dazu, dass die dem Fahrtwind ausgesetzte Querschnittsfläche oszilliert und dadurch ein effektiv höherer Cw-Wert resultiert als beim statischen Pfeil. Dieser effektive Cw-Wert nimmt jedoch während der Flugbahn exponentiell ab, weil die Amplitude der Schwingung abnimmt. Die berechnete Flugbahn ist im Ergebnis keine symmetrische Parabel, sondern eine schiefe Parabel mit etwas steilerem Abfall zur Scheibe hin.

Zuerst zwei Flugbahnen¹⁶ auf 70 m. Die Abschussgeschwindigkeiten unterscheiden sich um 3 km/h, ansonsten sind alle Parameter wie z.B. der Abschusswinkel gleich. Der langsamere Pfeil hat also eine um 2.77% geringere kinetische Energie als der schnellere.



¹⁶ Die Zahlen an den Flugbahnen sind die Abschussgeschwindigkeit, die maximale Höhe über dem Boden und die Zeit bis zum Eintreffen an der Scheibe. Die Grafik ist vertikal überhöht dargestellt.

Abbildung 21: Flugbahnen auf 70 m

Das nachfolgende Bild zeigt die Situation an der Scheibe genauer:

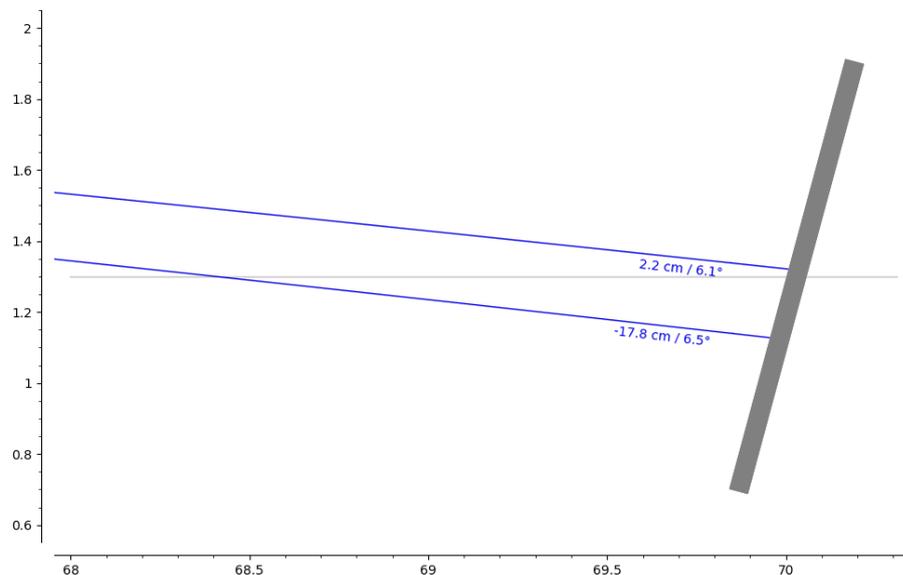
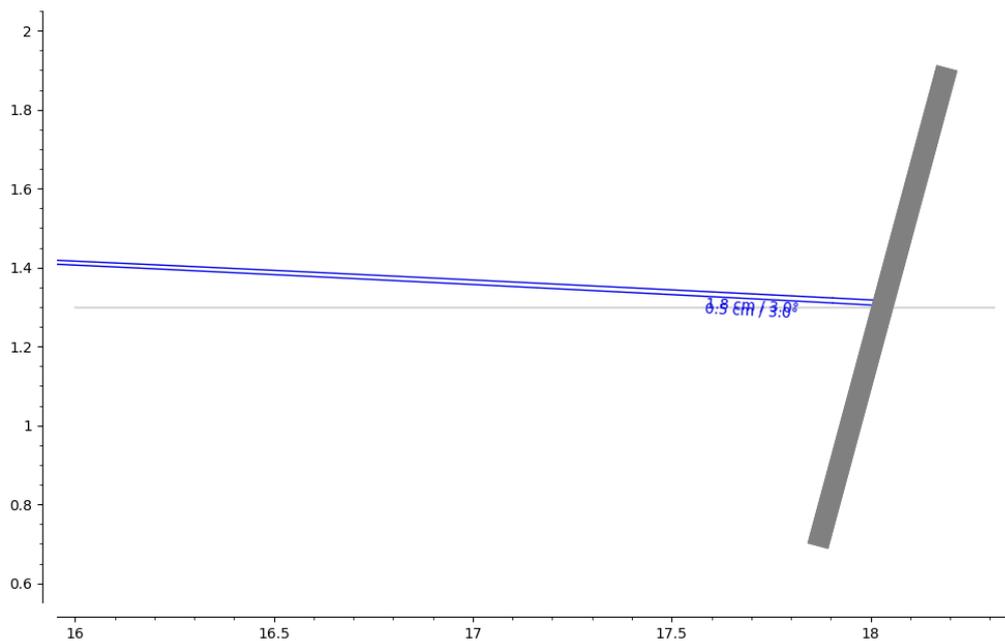


Abbildung 22: Scheibe auf 70m

Die Distanz der beiden Pfeile auf der Auflage beträgt $2.2\text{ cm} + 17.8\text{ cm} = 20.0\text{ cm}$. Die entfernungsunabhängige *normierte vertikale Streuung*, wie sie die Archery Analytics Auswertesoftware berechnet, wäre in diesem Beispiel 4.0.



Auf 70 m ist die normierte vertikale Streuung gut 15x so groß wie auf 18m. Der Geschwindigkeitsunterschied von 3 km/h beim Abschuss des Pfeils wirkt sich bei großer Distanz viel stärker aus als bei kurzer Distanz.

Das ist der Grund, warum sich bestimmte Schießfehler wie z.B. Lösefehler (Abschnitt 5.b) auf größeren Distanzen stärker bemerkbar machen, wie andere Fehler (z.B. ein instabiler Anker, siehe Abschnitt 5.a). Variiert man z.B. durch einen instabilen Anker den vertikalen Abschusswinkel um 0.2° bei konstanter Abschussgeschwindigkeit, so wäre die normierte vertikale Streuung bei 70 m und 18 m jeweils gleich dem Wert 5.0.

Ist nun 3 km/h Unterschied viel oder wenig? Bei einem Recurve Bogen genügt es, wenn man die Sehne nach dem Klicker und vor dem eigentlichen Lösen durch die Finger lediglich um etwa 2.77% von $50\text{ cm} = 1.4\text{ cm}$ nachlässt, z.B. durch nicht entspannendes Lösen oder aufgrund mangelnder Körperspannung. Damit hat man schon die Abschussgeschwindigkeit um etwa 3 km/h reduziert. Auf 70 m sind das dann $20\text{ cm} = 3\text{-}4$ Ringe Unterschied auf der Scheibe.

c. Wozu dient der Drall?

Die Befiederung von Pfeilen wird oftmals so angebracht, dass die Federn angestellt werden und dadurch während des Flugs in Rotation um ihre Längsachse versetzt werden. Die Vorstellung „viel Drall hilft viel“ ist allerdings unangebracht.

Kugeln versetzt man durch Rillen im Lauf in einen sehr starken Drall. Das ist deswegen notwendig, weil Kugeln durch ihre typische Form (vorne ein abgerundeter Kopf, hinten zylindrisch) meist einen hinter der Mitte liegenden Schwerpunkt haben. Dadurch stabilisiert die Aerodynamik nicht das Projektil - im Gegenteil: eine Kugel ohne Drall würde sich während des Fluges aufstellen und unkontrolliert um ihre Achsen herumwirbeln. Der Drall stabilisiert das Projektil durch einen hohen Drehimpuls, der laut den Gesetzen der Physik erhalten bleiben muss. Viel Drall hilft hier tatsächlich viel.

Bei Pfeilen ist die Situation grundlegend anders. Pfeile stabilisieren sich durch die Aerodynamik, weil der Schwerpunkt vor der Mitte liegt. Sobald der Pfeil einen leichten Winkel gegen die Flugbahn bildet, wird diese Auslenkung durch den Luftstrom zurückgestellt. Hierfür braucht man nicht mal Federn. Deswegen stecken ja auch Blankschäfte mit der Spitze voran in der Scheibe. Die Federn beschleunigen den Rückstellvorgang, mehr nicht.

Wozu also ein Drall bei Pfeilen? Die Antwort ist, dass durch die Rotation die Ebene der Eigenschwingung des Pfeils im Kreis gedreht wird. Dadurch mitteln sich Windkräfte, die an den Seiten des in sich schwingenden Pfeils angreifen können, statistisch heraus, und man bekommt eine konstantere Flugbahn. Auch andere Fehler, wie z.B. fishtailing oder porpoising können durch eine Rotation schneller gedämpft und statistisch ausgeglichen werden.

Zu viel Drall schadet eher. Denn eine Rotation erzeugt auch Fliehkräfte, die den Pfeil aus seiner idealen Fluglage herausdrängen. Da der Schwerpunkt des Pfeils nicht in der Mitte sondern im vorderen Drittel liegt, gewinnen die Fliehkräfte der Rotation am hinteren Ende gegenüber denen am vorderen Ende. Sie sitzen am längeren Hebel, und so wird der Pfeil mit dem hinteren Ende im Kreis herum immer wieder ausscheren und gleich wieder durch den Luftstrom zurückgestellt werden. Diese Bewegung nennt man „Trudeln“.

Bei Pfeilen mit zu starkem Drall kann man das Trudeln insbesondere im letzten Teil der Flugbahn bei großen Distanzen beobachten. Nicht etwa weil der Pfeil langsamer wurde, sondern weil die Rotation durch die angestellten Federn immer stärker wurde und dadurch die Fliehkräfte immer größer wurden, bis sie schließlich die aerodynamischen Rückstellkräfte überwinden konnten.

9. Literaturverzeichnis

- Beck, C., & Meine, T. (2014). *Das große Pfeilebuch für technisches Bogenschießen*. Vorderegger & Partner.
- Easton. (22. 05 2019). *Easton Arrow Tuning Guide, 2. Auflage, 2016*. Von <https://eastonarchery.com/2016/11/easton-arrow-tuning-guide/> abgerufen
- Haidn, O., & Weineck, J. (2. Auflage, 2010). *Bogenschießen: Trainings- und bewegungswissenschaftliche Grundlagen*. Spitta GmbH.
- Vogel, R. (2001). *Übertraining - Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen*. Von Yumpu: <https://www.yumpu.com/de/document/view/4765255/ubertraining-begriffsklarungen-atiologische-hypothesen-ssms> abgerufen
- Wikipedia. (2019). *Archers Paradox*. Abgerufen am 22. 05 2019 von Archers Paradox: https://en.wikipedia.org/wiki/Archer%27s_paradox
- World Archery. (22. 05 2019). *World Archery Ranking*. Von <https://worldarchery.org/world-ranking> abgerufen