Ger J Exerc Sport Res 2022 · 52:626–636
<https://doi.org/10.1007/s12662-021-00773-z>
 Eingegangen: 3. Mai 2021
 Angenommen: 29. September 2021
 Online publiziert: 28. Oktober 2021
 © Der/die Autor(en) 2021

Christian Spura

Hochschule Hamm-Lippstadt, Hamm, Deutschland

Einfluss von Spine und Spline auf die Pfeilgruppierung bei der Compound-Bogen-Meisterschaftsrunde auf 50 m

Im Leistungs- wie auch im Breitensport verbringen Bogenschützen viele Stunden damit, ihre Ausrüstung zu testen, um die richtige Bogen-Pfeil-Kombination zu finden, welche die kleinste Gruppierung auf der Zielscheibe ermöglicht und damit das höchste Wertungsergebnis erreicht wird. Für die Bogen-Pfeil-Kombination hat der sogenannte Spine-Wert den größten Einfluss. Der Spine-Wert, auch kurz nur als *Spine* bezeichnet, beschreibt als Maßeinheit die Durchbiegung eines Pfeils. Wird der Pfeil vom Bogen abgeschossen, reagiert der Pfeil durch die auf ihn transferierte Energie in Form einer Verbiegung/Durchbiegung. Durch diese anfängliche erste Durchbiegung kommt es während der Flugphase zu einer Schwingung des Pfeils, welche durch die materialspezifischen Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften kompensiert werden müssen. Zudem muss sich ein stabiler Pfeilflug einstellen, damit auf der Zielscheibe alle Pfeile eine möglichst kleine Gruppierung zeigen. Durch dieses sehr dynamische Verhalten des Pfeils lässt sich der Spine in einen statischen und einen dynamischen Spine unterteilen (Easton Archery, 2014).

In diesem Zusammenhang ergeben sich zwei grundlegende Fragestellungen, welche in diesem Beitrag untersucht und beantwortet werden:

- Wie gut sind die Herstellerempfehlungen in Bezug der Auswahl von *Spine-Wert*, *Pfeillänge* und *Gewicht der Pfeilspitze* auf die Größe der Gruppierung auf der Zielscheibe?

- Wie beeinflusst die Steifigkeit des Pfeils die Größe der Gruppierung auf der Zielscheibe, wenn eine zu weiche sowie eine zu steife Pfeilkombination gewählt wird?

Des Weiteren ist der sogenannte *Spline* ein unter Bogenschützen weit verbreitetes und viel diskutiertes Thema. Somit ergibt sich zusätzlich noch die Fragestellung:

- Welchen Einfluss hat der Spline auf die Gruppierung?

Begriffsdefinition

Statischer Spine

Der statische Spine wird nach dem proprietären ASTM(American Society for Testing and Materials)-Standard wie folgt bestimmt (Easton Archery, 2014; ASTM International, 2014; Ram Products, 2020): Ein mindestens 29" (736,6 mm) langer Pfeilschaft wird auf zwei Auflagern mit Abstand von 28" (711,2 mm) aufgelegt. Die Auflager sind dabei drehbar, sodass keine Torsion im Pfeilschaft entstehen kann. Danach wird mittig zwischen den beiden Auflagern ein Gewicht von 1,94 lbs (880 g) an den Pfeil gehangen und die Durchbiegung des Pfeilschafts zur Ausgangslage (Horizontalen) gemessen. Die gemessene Durchbiegung wird in 1/1000 Zoll angegeben und ist der statische Spine. Als Beispiel ergibt sich bei einem Pfeilschaft mit einem Spine von 400 eine Durchbiegung von 0,4" (10,16 mm).

Je größer die im Bogen gespeicherte und beim Abschuss auf den Pfeil transferierte Energie, desto steifer muss der Pfeil sein (niedriger Spine). Ist der Pfeil wesentlich zu weich, kann der Pfeil durch den Abschuss zu sehr durchgebogen werden, und das kann im schlimmsten Fall zum Bruch des Pfeils führen. Des Weiteren führt eine nicht passende Steifigkeit für die verwendete Bogen-Pfeil-Kombination zu einem unruhigen und instabilen Pfeilflug sowie damit einhergehend zu einer großen Gruppierung auf der Zielscheibe.

Aufgrund des Herstellungsverfahrens und vorhandener Materialinhomogenitäten gibt es entsprechende Abweichungen im statischen Spine. Als Beispiel werden bei Carbonpfeilen die Carbonfasern radial und in Längsrichtung gewickelt und angeordnet, um ein möglichst homogenes Materialverhalten zu erzielen. Pfeile aus Aluminium werden mit dem Umformverfahren Strangpressen hergestellt. Bei Composit-Pfeilen, also Aluminiumschicht innen und Carbonschicht außen oder Carbonschicht innen und Aluminiumschicht außen, muss noch ein zusätzlicher Fügevorgang und eine Klebeschicht berücksichtigt werden. Durch diese verschiedenen Herstellungsverfahren kommt es zwangsläufig zu Abweichungen während der Herstellung sowie im Material. In Herstellerkatalogen werden weder die Toleranzen noch der Bereich des statischen Spine angegeben.

Nach Park (Park, 2010) ist bei einem Compound-Bogen die Bewegung des Pfeils in der vertikalen Ebene für

Abb. 1 ▲ GoldTip Kinetic Pierce Tour 400: gemessene und normierte Abweichungen des statischen Spine zweier beliebiger Carbonpfeile (a, b) aus dem gleichen Satz

die Pfeilgruppierung auf der Zielschiebe von entscheidender Bedeutung. Dies entspricht der Ebene der Pfeildurchbiegung beim Abschuss aus dem Bogen. Der Nockpunkt der Sehne, also die Stelle an der die Pfeilnocke auf die Sehne des Bogens aufgeklipst ist, bewegt sich beim Abschuss neben der eigentlichen Horizontalbewegung auch leicht in Vertikalrichtung nach unten, sodass der Pfeilschaft zu jeder Zeit auf die Pfeilaufgabe gedrückt wird. Durch diese leichte vertikale Abwärtsbewegung des Nockpunktes wird ein ungewolltes Ausbrechen des Pfeils beim Abschuss nach oben verhindert, und der Pfeil wird durch die Pfeilaufgabe geführt. Des Weiteren wird von Park et al. (Park et al., 2017) nachgewiesen, dass die Geradheit und damit auch die Durchbiegung eines Pfeils einen erheblichen Einfluss auf das Pfeilverhalten beim Abschuss aus dem Bogen haben.

Spline

Eine weitere Eigenschaft des Pfeilschaftes ist der umgangssprachlich sogenannte *Spline*. Das Kofferwort *Spline* setzt sich aus den beiden englischen Worten „spine“ und „line“ zusammen. Infolge der Herstellung kommt es unweigerlich zu Werkstoff- und Fertigungsabweichungen entlang des Pfeilumfangs, wie z. B.

eine schwankende Wandstärke. Durch diese Abweichungen variiert die Durchbiegung des Pfeils entlang seines Umfangs. Wird mit der oben beschriebenen Messmethode der statische Spine an mehreren Stellen entlang des Pfeilumfangs gemessen, finden sich entsprechende Abweichungen in der Durchbiegung. In **Abb. 1** sind die Abweichungen der Durchbiegung entlang des Umfangs in 15°-Schritten auf den Maximalwert in normierter Form dargestellt. Bei dem Carbonpfeil in **Abb. 1a** ist in der dargestellten Lage die größte Durchbiegung in horizontaler Lage (90°, 270°) und die geringste Durchbiegung in vertikaler Lage (0°, 180°) vorhanden. Hier ist die Lage der größten und geringsten Durchbiegung um 90° zueinander gelegen. Verglichen mit **Abb. 1b** zeigt sich bei einem anderen Carbonpfeil aus dem gleichen Satz ein sehr abweichendes Bild. Die größte Durchbiegung tritt entlang der Achse 30–210° und die geringste Durchbiegung entlang der Achse 90–270° auf. Die größte und geringste Durchbiegung ist damit um 60° zueinander versetzt. Zudem zeigen die Messergebnisse in **Abb. 1**, dass alle Abweichungen im Bereich < 4 % liegen. Es wurden hier Pfeile der mittleren Preisklasse verwendet. Da der Herstellprozess bei Carbonpfeilen immer der gleiche ist und eine herstellerseitige Sor-

tierung nur nach der Geradheit erfolgt, können diese Messergebnisse auch auf Pfeilschäfte der höheren und niedrigen Preisklassen übertragen werden. Höherwertige Pfeile weisen dabei geringere und niederwertige Pfeile größere Abweichungen auf. Zudem weisen Pfeile aus Aluminium wie auch Compositpfeile (Aluminium-Carbon) insgesamt deutlich geringere Abweichungen auf als reine Carbonpfeile. Stichprobenartige Messungen können dies bestätigen.

Der Spline als Messgröße ist nicht eindeutig definiert. Es ist naheliegend, als Spline entweder die Position der größten Durchbiegung (geringste Biegesteifigkeit) oder der geringsten Durchbiegung (größte Biegesteifigkeit) heranzuziehen. In der praktischen Anwendung ist es einfacher, die Position der größten Durchbiegung zu bestimmen. Daher soll nachfolgend unter dem Begriff *Spline* die Position der größten Durchbiegung verstanden werden.

Zur Bestimmung der Position bzw. Lage des Splines kann das oben beschriebene Messverfahren verwendet werden. Eine weitere Messmethode, welche aus einfachen und praktischen Gründen gerne angewendet wird, stammt aus dem Golfsport. Von Maltby (Maltby, 1995; Maltby Design, 2020) wurde das sogenannte *Golf Shaft Deflection Board*

zur Bestimmung der Durchbiegung bei Schäften von Golfschlägern entwickelt. Hierzu wird ein Ende des Golfschlägerschaftes eingespannt und am freien Ende ein Gewicht von 7 lbs (3,18 kg) angehängt. Der Golfschlägerschaft ist zudem drehbar gelagert, um die Unterschiede der Durchbiegung entlang des Umfangs messen zu können. Wird dieses Messverfahren auf einen Pfeilschaft übertragen, ist das anzuhängende Gewicht entsprechend zu reduzieren, z. B. auf 0,97 lbs (440 g). Es wird an dieser Stelle angemerkt, dass die Position bzw. Lage des Splines bei ein und demselben Pfeil mit beiden Messverfahren teilweise unterschiedlich ausfällt. Ein Zusammenhang zu den Messergebnissen beider Verfahren konnte bisher nicht hergestellt werden. Als weitere Anmerkung sei erwähnt, dass bei Bogenschützen der irrtümliche Mythos vorherrscht, der Spline eines Golfschlägers sei mit dem Spline eines Pfeils identisch bzw. vergleichbar. Auf diesen Umstand soll kurz eingegangen werden. Ist bei einem Golfschläger nach der Messung die Lage des Splines bekannt, wird im Allgemeinen die Theorie vertreten, dass der Spline in Schlagrichtung zum Golfball angeordnet werden soll, damit die gesamte Schlagkraft vom Golfschläger geradlinig auf den Golfball übertragen wird. Ist der Spline anders angeordnet, soll es zu seitlichen Schwingungen kommen und der Flug des Golfballs soll damit abgelenkt werden. Verschiedene Autoren (Chou & Roberts, 1994; Brouillette, 2002; Mase, 2004; Huntley, Davis, Strangwood, & Otto, 2006; Huntley, 2007; MacKenzie & Springings, 2009; Betzler, 2010) konnten jedoch in Untersuchungen nachweisen, dass die bei einem Golfschlägerschaft vorhandenen Abweichungen der Durchbiegung entlang des Schaftumfangs (Spline) keinen Einfluss, weder auf den Golfschwung noch auf das Flugverhalten des Golfballs haben. Angemerkt sei weiterhin, dass der Schaft eines Golfschlägers nicht mit einem Pfeilschaft für das Bogenschießen verglichen werden kann. Zum einen rotiert der Golfschläger beim Schwung um einen Fixpunkt (Golfspieler). Die Bewegung des Golfschlägers erfolgt näherungsweise senkrecht zur Längsachse

Ger J Exerc Sport Res 2022 · 52:626–636 <https://doi.org/10.1007/s12662-021-00773-z>
© Der/die Autor(en) 2021

C. Spura

Einfluss von Spine und Spline auf die Pfeilgruppierung bei der Compound-Bogen-Meisterschaftsrunde auf 50 m

Zusammenfassung

Wird ein Pfeil von einem Compound-Bogen abgeschossen, so verursacht die durch das Zuggewicht auf den Pfeil übertragene Abschussenergie eine Biegeknickung (seitliches Ausweichen der Längsachse) des Pfeils. Je nach statischem Spine-Wert des Pfeilschafts, fällt diese Biegung größer oder kleiner aus. Während des freien Pfeilfluges muss die Biegeknickung, welche in Form einer freien Schwingung sichtbar ist, durch die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften des dynamischen Spines kompensiert werden. Der Pfeil muss sich im freien Flug entsprechend eigenständig stabilisieren, um auf der Zielscheibe eine möglichst kleine Pfeilgruppierung zu erreichen. Darüber hinaus variiert der statische Spinewert entlang des Pfeilumfangs, und bei jedem Pfeil ist eine bestimmte Orientierung vorhanden, in welcher die Durchbiegung am größten bzw. kleinsten ist. Dies wird im Allgemeinen mit *Spline* bezeichnet. In diesem Beitrag wird mittels experimenteller Untersuchungen dargelegt, welche Auswirkung die Wahl eines

zu weichen oder zu steifen Pfeils (dynamischer Spine) im Vergleich zu einem optimalen Pfeil auf die Größe der Pfeilgruppierung und damit auf die Ringzahl besitzt. Zudem werden auch Variationen der Lage und Orientierung des *Splines* durchgeführt. Hier zeigen die Ergebnisse, dass der Spline keine Auswirkungen auf die Größe der Pfeilgruppierung besitzt. Weiterhin ergeben sich aus den Untersuchungsergebnissen, dass ein zu weicher wie auch ein zu steifer Pfeil zu einer Vergrößerung der Pfeilgruppierung führen und dadurch das Wertungsergebnis entsprechend geringer wird. Mithilfe der durchgeführten Untersuchungen in diesem Beitrag wird der Einfluss des Spine auf die Pfeilgruppierung aufgezeigt, um den Bogenschützen bei der richtigen Materialauswahl zu unterstützen.

Schlüsselwörter

Bogenschießen · Experimentelle Versuchsdurchführung · Kruskal-Wallis-Test · Tuning · Leistungssport · Breitensport

Influence of spine and spline on arrow grouping in the 50 m compound bow championship round

Abstract

When an arrow is shot from a compound bow, the bows power stroke applied by the draw weight causes the arrow to flexural buckling (lateral deviation of the longitudinal axis). Depending on the existing static spine of the arrow, this bending is larger or smaller. The flexural buckling during free flight of the arrow, which is visible as a free oscillation, must be compensated by the stiffness and damping properties of the dynamic spine. In free flight, the arrow must stabilize itself accordingly on its own in order to achieve the smallest possible arrow grouping on the target. In addition, the static spine value varies along the circumference of the arrow and for each arrow there is a particular orientation in which the deflection is greatest. This is generally referred to as the *spline*. In this paper, experimental investigations are used to show the effect of choosing an arrow

that is too soft or too stiff on the grouping and thus on the scoring result compared to an optimal arrow. In addition, variations in the position and orientation of the *spline* are also carried out. Here, the results show that the spline has no effect on the size of the arrow grouping. Furthermore, the test results shown that a softer arrow as well as a stiffer arrow leads to an increase in the size of the arrow grouping and thus the scoring result is correspondingly lower. Based on the research conducted in this paper, the influence of the spine on the arrow grouping is shown to assist the archer in making the correct material selection

Keywords

Archery · Experimental procedure · Kruskal-Wallis-Test · Tuning · Competitive sports · Amateur sports

des Golfschlägers. Zum anderen ist der durch den Golfball eingeleitete Kraftstoß ebenfalls quer zur Längsachse des Golfschlägers. Eine Analogie und Vergleichbarkeit zum Pfeilschaft sind damit nicht gegeben, da die Bewegung des Pfeils sowie der Kraftstoß in Richtung der Pfeil-Längsachse erfolgt. Des Weiteren ist durch diesen Mythos die bei Bogenschützen weit verbreitete Vorgehensweise entstanden, dass der Spline in Richtung der Pfeilauflage anzuordnen sei, um eine möglichst kleine Gruppierung der Pfeile auf der Zielscheibe zu gewährleisten. Hintergrund soll sein, dass bei einer solchen Anordnung bzw. Ausrichtung die größte Durchbiegung beim Abschuss immer in Richtung der Pfeilauflage erfolgt, somit sollen sich alle Pfeile identisch verhalten. Da jedoch der Absolutwert des Spine und damit auch der Spline von Pfeilschaft zu Pfeilschaft unterschiedliche Werte aufweisen, ergeben sich dementsprechend unterschiedliche Werte bei der Durchbiegung von Pfeilschaften. Der Einfluss dieser Durchbiegung und damit des Splines wird in den folgenden experimentellen Versuchen untersucht.

Bezogen auf die Abweichungen der Durchbiegung entlang des Umfangs eines Pfeilschaftes muss noch angemerkt werden, dass bei keiner statischen Messung hervorgeht, ob die Lage der größten bzw. geringsten Durchbiegung entlang der Längsachse immer an der gleichen Umfangsposition vorhanden ist. Mit den beiden vorgestellten Messmethoden wird entweder ein Gewicht in der Mitte des Pfeilschaftes oder an dessen Ende angebracht. Ungeklärt ist, ob bei beiden Messmethoden die Positionen der größten und geringsten Durchbiegung identisch sind. Auch ist nicht geklärt, wie sich die Messergebnisse verhalten, wenn das anzubringende Gewicht an Stellen zwischen der Pfeilmitte und dem Pfeilen- de aufgebracht wird. Es kann sein, dass die größte Durchbiegung immer am gleichen Umfangspunkt vorliegt. Möglich ist jedoch auch, dass die Linie der größten Durchbiegung entlang der Längsachse schraubenlinienförmig verläuft. Ebenfalls denkbar sind andere Formen. Die Lage der größten Durchbiegung entlang der Pfeillänge lässt sich aktuell mit kei-

ner gängigen Messmethode bestimmen. Durchaus möglich wäre die Bestimmung mit speziellen computergestützten Messsystemen, welche jedoch sehr kosten- und zeitaufwändig sind und daher nicht weiter beachtet werden sollen.

Verhalten beim Abschuss

Verhalten des Pfeils beim Abschuss

Der Abschuss des Pfeils lässt sich in zwei zeitliche Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt beginnt beim Schützen mit dem Lösen der Sehne und endet, wenn die Nocke des Pfeils die Sehne verlässt. Der zweite Abschnitt beginnt, wenn die Nocke die Sehne verlassen hat und endet mit Auftreffen des Pfeils auf der Zielscheibe.

Im ersten Abschnitt wird der Pfeil auf seine Anfangsgeschwindigkeit zum Verlassen des Bogens beschleunigt. Der Pfeil ist über die Nocke mit der Sehne fest verbunden und wird über die Pfeilauf- lage geführt. Die Übertragung der im gespannten Bogen gespeicherten potenziellen Energie wird nahezu schlagartig durch die Sehne auf die Nocke und damit auf den Pfeil übertragen. Durch die Befestigung des Pfeils mit der Sehne erfährt der Pfeil eine reine translatorische Beschleunigung. Der Pfeil kann sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht um seine Längsachse drehen. Die Pfeilspitze stellt durch ihr Gewicht und die damit verbundene Massenträgheit zum Zeitpunkt der schlagartigen Übertragung der im Bogen gespeicherten potenziellen Energie einen gewissen Widerstand gegen die Beschleunigung dar. Mit zunehmendem Gewicht der Pfeilspitze erhöht sich dieser Widerstand/Massenträgheit, wodurch sich auch die Durchbiegung entsprechend vergrößert. Die Größe der Durchbiegung ist damit vom statischen Spine sowie vom Gewicht der Pfeilspitze abhängig.

Da der Pfeil ein sehr langes, schlankes Bauteil mit hohem Schlankheitsgrad ist, liegt es nahe, die Durchbiegung des Pfeils mithilfe der Eulerschen Knickfälle aus der technischen Mechanik (z. B. Mahnken, 2019) zu vergleichen. Anhand der Lagerung des Pfeils kommt dabei tendenziell der 2. Eulersche Knickfall zur Anwendung. Die Größe der Durch-

biegung der Biegeknickung (seitliches Ausweichen der Längsachse) in der Beschleunigungsphase ist vom Spine abhängig. Wird bei diesem Stabilitätsproblem von einer idealen Geometrie und einer idealen, symmetrischen Krafteinleitung ausgegangen, lässt sich zwar die Gestalt des verformten Pfeils bestimmen, jedoch nicht die Richtung, in welcher der Pfeil ausknickt.

Es ist in erster Linie naheliegend für die Bestimmung der Ausknickrichtung die *fertigungs- und materialabhängigen Abweichungen* heranzuziehen. Ein Pfeil würde sich dann immer in Richtung der schwächsten Stelle durchbiegen. Bei den in [Abb. 1](#) dargestellten Abweichungen würde sich der Pfeil in [Abb. 1a](#) um die Achse 0–180° und der Pfeil in [Abb. 1b](#) um die Achse 30–210° durchbiegen.

Darüber hinaus müssen weitergehend noch die *Krafteinleitung* und die Bewegung berücksichtigt werden. Beim Compoundbogen liegt der Pfeil mit seiner Unterseite (in [Abb. 1](#) bei 180°) auf der Pfeilauf- lage auf. Der Nockpunkt der Sehne beschreibt während der Beschleunigungsphase eine horizontale Translation. In diese Richtung wird der Schwerpunkt des Pfeils von der Sehne beschleunigt. Darüber hinaus bewegt sich der Nockpunkt zusätzlich leicht in vertikaler Richtung nach unten, damit der Pfeil in jeder Position leicht gegen die Pfeilauf- lage gedrückt wird, um eine konstante Führung/Lagerung des Pfeils zu gewährleisten. Der Pfeil darf unter keinen Umständen von der Pfeilauf- lage nach oben hin abheben. Würde dies passieren, kann der Schwerpunkt des Pfeils oberhalb des Nockpunktes liegen, und es würde keine translatorische Beschleunigung des Pfeils in Richtung Zielscheibe mehr erfolgen. Vielmehr würde durch den zu hoch liegenden Schwerpunkt der Pfeil nach oben hin abgelenkt werden, und die potenzielle Energie würde unvollständig auf den Pfeil übertragen werden. Die Pfeilauf- lage bildet somit einen Anlagewiderstand, sodass der Schwerpunkt des Pfeils tendenziell leicht nach unten bewegt wird, aber nicht unterhalb des Nockpunktes liegen kann. Es findet somit eine *exzentrische Krafteinleitung* von der Sehne in den Pfeil statt.

Werden beide Einflüsse (fertigungs- und materialabhängige Abweichungen sowie exzentrische Krafteinleitung) miteinander verglichen, überwiegt eindeutig die exzentrische Krafteinleitung: Die fertigungs- und materialabhängigen Abweichungen liegen im Bereich $< 5\%$, weshalb diese unberücksichtigt bleiben können. Einen wesentlich größeren Einfluss besitzt die exzentrische Krafteinleitung. Wird der Pfeil exzentrisch belastet, ist damit gleichzeitig die Richtung der Biegeknicung vorgegeben. Auch bei leichten Abweichungen in Form und Material zwingt die exzentrische Belastung mit der zugehörigen Lagerung den Pfeil, in die vorgegebene Richtung durchzubiegen.

Schlussfolgernd kann daher festgehalten werden, dass zum einen jeder Pfeilschaft einen Spline besitzt, welcher über die gesamte Pfeillänge nicht konkret für jede Stelle bestimmt werden kann. Lediglich die Bestimmung für eine Belastung in Pfeilmitte und am Pfeilende ist mit den üblichen Messmethoden möglich. Zum anderen ist infolge der exzentrischen Krafteinleitung der Einfluss des Splines von weit untergeordneter Bedeutung, sodass der Spline keinen Einfluss auf die Durchbiegung des Pfeils besitzt. Dies wird in den folgenden experimentellen Untersuchungen bestätigt.

Dynamischer Spine und Verhalten des Pfeils nach dem Abschuss

Nach dem Abschuss aus dem Bogen, wenn die Nocke die Sehne verlassen hat, beginnt der Pfeil in Abhängigkeit vom Befiederungswinkel um seine Längsachse zu rotieren. Dies ist der Zeitpunkt, an dem das Verhalten des Pfeils nicht mehr vom statischen, sondern vom *dynamischen Spine* bestimmt wird. Der dynamische Spine ist dabei keine wirkliche Maßeinheit, sondern beschreibt vielmehr die Art und Weise, wie ein Pfeil beim Abschuss und auch während des freien Flugs auf die vom Bogen transferierte potenzielle Energie reagiert (Easton Archery, 2014). Zudem ist der dynamische Spine von einer Vielzahl von Variablen abhängig, wodurch eine zahlenmäßige Bestimmung unmöglich ist (Easton Archery, 2014). Als Beispiel kann gesagt

werden, dass bei einer Variation des Gewichts der Pfeilspitze oder auch bei Variation der Auszugslänge und/oder des Auszugsgewichts des Bogens der dynamische Spine direkt verändert wird. Zum Beispiel hat ein um 25 g (1,62 g) höheres Spitzengewicht, ein um ca. 3 bis 5 lbs (2,27 kg) höheres Auszugsgewicht oder eine um 1" (25,4 mm) längere Schaftlänge eine nahezu gleiche Auswirkung auf den dynamischen Spine. Durch jeweils einen dieser genannten Parameter verhält sich der Pfeil weicher als bei seiner Ausgangskonfiguration. Durch einen weicheren Pfeil kommt es zu einer größeren Durchbiegung beim Abschuss und damit zu einem veränderten dynamischen Spine. Gleiches gilt für die Erhöhung des Auszugsgewichts des Bogens um 3 bis 5 lbs oder die Verwendung eines 1" längeren Pfeilschafts. Es ist zu beachten, dass diese Zahlenwerte nur Richtwerte sind. Daneben haben auch die Länge der Pfeilspitze (innerhalb wie auch außerhalb des Pfeilschaftes), die Größe, Lage und der Winkel der Befiederung sowie die Größe und das Gewicht der Nocke einen Einfluss auf den dynamischen Spine.

Verlässt der Pfeil den Bogen und befindet sich im freien Flug, geht die durch die Anfangsbeschleunigung induzierte Durchbiegung in eine Biegeschwingung über. Diese Biegeschwingung wird, bei optimaler Abstimmung zwischen Pfeil und Bogen, soweit kompensiert bzw. verringert, dass der Pfeil nach kurzer Flugzeit keine Biegeschwingung mehr aufweist und einen stabilen Flug besitzt. Während des Auftretens der Biegeschwingung besitzt der Pfeil zwei Schwingungsknoten. Der vordere Knoten liegt kurz hinter der Pfeilspitze, während der hintere Knoten weiter vom Pfeilende in Richtung Pfeilmittel entfernt ist (aufgrund des höheren Gewichts der Pfeilspitze im Vergleich zum geringen Gewicht der Pfeilnocke). Die konkrete Position der beiden Schwingungsknoten ist von etlichen Faktoren, wie z.B. Pfeillänge, Spine, Spitzengewicht, Nockengewicht, Auszugsgewicht des Bogens usw. abhängig.

Auswirkungen auf die Gruppierung

Die Haupteinflussgrößen auf die Pfeilgruppierung nach Park (Park et al., 2017) sind:

- Die Größe der Pfeilgruppierung korreliert mit der Geradheit des Pfeils. Für eine gute Gruppierung sollte eine Geradheitstoleranz von weniger als 0,003" (0,076 mm) gewählt werden. Für eine Meisterschaft sollte die Geradheitstoleranz 0,001" (0,025 mm) betragen.
- Die Größe der Pfeilgruppierung nimmt mit zunehmendem Befiederungswinkel merklich ab. Ein Befiederungswinkel zwischen 1° und 2° hat sich als ausreichend erwiesen.
- Die Größe der Pfeilgruppierung nimmt mit zunehmender Geradheit und Konzentrität der Nocke ab.

Diese Faktoren werden bei den nachfolgenden experimentellen Untersuchungen berücksichtigt.

Methoden

Versuchsaufbau

Alle getesteten Pfeile wurden auf einer Distanz von 50 m mit einer *Hooter-Shooter-Schießmaschine* (Spot Hogg Archery Products, 2020) und dem Compoundbogen *Bowtech Reckoning 38* (Abb. 2; Bowtech Inc., 2020) mit synchronisierten Cams und einem Komfortmodul mit 76 % Let-off, einer Auszugslänge von 32" (762 mm) und einem Auszugsgewicht von $51 \pm 0,7$ lbs (227 ± 3 N) geschossen. Bei der Hooter-Shooter-Schießmaschine wird ein harter Anschlag verwendet, um eine konstante Auszugslänge mit einer Toleranz von < 1 mm zu gewährleisten. Zusätzlich ist die Hooter-Shooter-Schießmaschine am Boden verschraubt. In der Sehne des Bogens ist ein Peep Sight (Lochvisier mit Clarifier) mit Durchmesser 3/32" (2,38 mm) und einem Visier mit Vergrößerungslinse von 1,0 Dioptrien verwendet. Die Kombination aus Peep Sight, Visierabstand und Linse ergibt eine 10-fache Vergrößerung, um genaues Zielen zu ermöglichen. Im Visier ist eine Wasserwaage verbaut, um

Abb. 2 ◀ Hooter-Shooter-Schießmaschine (Spot Hogg Archery Products, 2020) mit Bowtech Reckoning 38 (Bowtech Inc., 2020)

sicherzustellen, dass der Bogen bei jedem Schuss senkrecht steht. Vor jedem Schuss wird der Bogen neu ausgerichtet, um eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Versuchsdurchführung zu gewährleisten. Es wird die Fall-away-Pfeilaufgabe Hamskea Trinity Target Pro (Hamskea Archery Solutions LLC, 2020) mit einem starren Auflageblech verwendet.

Die eingesetzten Pfeile und deren Spezifikationen sind in **Tab. 1** aufgeführt. Unter Bezugnahme der aktuellen Pfeilschaftauswahltablette (Gold Tip LLC, 2020) und der verwendeten Compoundbogenkonfiguration wird für den Pfeilschaft ein Spine von 340 mit 125 g. (8,1 g) Pfeilspitze oder 400 mit 100 g. (6,5 g) Pfeilspitze empfohlen. In **Tab. 1** besitzen demnach die beiden ganz rechts aufgeführten Pfeilsätze (*Kinetic Pierce Platinum 400* mit 100 g. [6,5 g]) Pfeilspitze und *Kinetic Pierce Platinum 340* mit 120 g. (7,8 g; Pfeilspitze) den passendsten Spine für die verwendete Compoundbogenkonfiguration. Die beiden anderen Sätze sollen in der aufgeführten Konfiguration einen, um eine Stufe zu weichen Pfeil (*Kinetic Pierce Tour 400* mit 140 g. [9,1 g] Spitzengewicht) sowie einen, um zwei Stufen zu steifen Pfeil (*Kinetic Pierce Tour 300* mit 100 g. [6,5 g] Spitzengewicht) darstellen. All diese Konfigurationen sind mit der verwendeten Compoundbogenkonfiguration nutzbar. Des Weiteren sind bei den vier verschiedenen Pfeilspezifikationen zwei verschiedene Qualitäten bei der Geradheit vorliegend. Hiermit soll zusätzlich die Frage geklärt wer-

den, ob diese beiden unterschiedlichen Qualitäten einen Einfluss auf die Pfeilgruppierung besitzen. Zudem werden für alle Pfeile einheitliche Komponenten verwendet: Pfeilspitzen: *Gold Tip Glue-In-Accu-Points*, Nocken: *Gold Tip Pin-Bushings* mit *HD-Pin-Nocks* und *Nock-Collar*.

Versuchsplan und -durchführung

Die in **Tab. 1** aufgeführten vier Pfeilkonfigurationen bestehen aus jeweils zwei kompletten Sätzen zu je zwölf Pfeilen (insgesamt 96 Pfeile). Um einen möglichen Einfluss des Splines zu untersuchen, werden alle Pfeile mit der im Abschnitt „Statischer Spine“ beschriebenen Methode vermessen. Bei jeweils einem Satz der vier Pfeilkonfigurationen wird die Achse der größten Durchbiegung auf 90–270° angeordnet, sodass die größte Durchbiegung vertikal nach unten, in Richtung Pfeilaufgabe, vorliegt. Bei dem jeweils anderen Satz wird bei je zwei Pfeilen die Richtung der größten Durchbiegung so angeordnet, dass diese an den Positionen 45°, 90°, 135°, 225°, 270° und 315° entlang des Pfeilumfangs liegt (vgl. für die Positionsangaben **Abb. 1**). Insgesamt ergeben sich damit vier Pfeilsätze mit einem Spine bei 180° und vier Pfeilsätze mit einer eher gleichverteilten Richtung des Splines.

Da sich eine ungenaue Einstellung von Compoundbogen und Pfeilaufgabe bei einem unbefiederten Blankschaft (mit Pfeilspitze und Nocke) wesentlich deutlicher abzeichnet als bei einem befiederten Pfeil, werden im ersten Schritt

Abb. 3 ▲ Ergebnisse des Papiertests. a Blankschaft, b 3-fach befiederter Pfeil

alle Pfeile als Blankschaft mit der Standard *Paper-Tuning-Method* (Gold Tip LLC, 2021) getestet. Hierzu werden die Blankschäfte durch Papierbögen mit Distanzen von 1 m, 5 m und 10 m zum Compoundbogen geschossen. Die optimale Einstellung von Compoundbogen und Pfeilaufgabe ist dann gefunden, wenn auf dem Papierbogen nur die aufgetroffene Pfeilspitze zu erkennen ist. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass der gesamte Pfeil geradlinig durch das Papier gedrungen ist. Exemplarisch ist im oberen Teil von **Abb. 3** ein solches Ergebnis für eine optimale Einstellung von Compoundbogen und Pfeilaufgabe im Papiertest dargestellt. Des Weiteren wird während dieses ersten Schritts die natürliche Pfeilschaftrotation für die anschließende Befiederung identifiziert.

Im zweiten Schritt werden alle Pfeile mit drei *VaneTec 1.87 Swift* (VaneTec Inc., 2020) mit einem Befiederungswinkel von 1,2° zur Pfeillängsachse unter Berücksichtigung der natürlichen Schaftrotation befiedert. Die zuvor festgelegte Orientierung des Splines wird beim Anbringen der Befiederung entsprechend berücksichtigt. Wie bereits im Abschnitt „Auswirkungen auf die Gruppierung“ aufgeführt (Park et al., 2017), haben die Nockenauswahl und der Befiederungswinkel einen großen Einfluss auf die Gruppierung. Aufgrund dieser Faktoren werden bei allen Pfeilen identische Kompo-

Tab. 1 Pfeilspezifikationen

Pfeileigenschaften	Kinetic Pierce Tour 400	Kinetic Pierce Tour 300	Kinetic Pierce Platinum 400	Kinetic Pierce Platinum 340
Länge (inch)	30	30	30	30
Gesamtgewicht (g) ^{a,b}	394,6 ± 0,43	404,7 ± 0,63	351,8 ± 0,72	399,6 ± 0,29
Spine ^c	400	300	400	340
Spine (inch)	0,401 ± 0,003	0,302 ± 0,003	0,397 ± 0,007	0,341 ± 0,005
Geradheit (inch) ^c	±0,001	±0,001	±0,0025	±0,0025
Schaftgewicht (g/inch) ^c	7,6	9,1	7,6	8,3
Gewichtscode	247	290	243	267
Gewichtstoleranz (g) ^c	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
Spitzengewicht (g) ^c	140	100	100	120

^aBestehend aus: Pfeilspitze, Pfeilschaft, Pin-Bushing, Nock-Collar, Nocke und dreifach Befiederung

^bGemessen mit Feinwaage Palmscale 8,0 mit einer Teilung von 0,01 g

^cGemäß den Herstellerangaben

Tab. 2 Pfeilgruppengröße bei einer Zieldistanz von 50 m

Nr.	Pfeilschaft	Horizontal				Vertikal			
		Min. (mm)	Max. (mm)	Mittel- wert (mm)	S _{hori.} (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)	Mittel- wert (mm)	S _{vert.} (mm)
Kinetic Pierce Tour 400									
1	Größte Durchbiegung bei 180°	40	53	47	3,52	44	54	49	3,26
2	Größte Durchbiegung beliebig	40	54	46	3,69	46	55	50	2,80
Kinetic Pierce Tour 300									
3	Größte Durchbiegung bei 180°	52	62	57	3,19	56	66	61	3,41
4	Größte Durchbiegung beliebig	53	64	59	2,97	54	63	58,1	2,84
Kinetic Pierce Platinum 400									
5	Größte Durchbiegung bei 180°	32	38	35	2,10	37	43	40	2,24
6	Größte Durchbiegung beliebig	33	39	36,2	1,94	35	41	38,1	2,30
Kinetic Pierce Platinum 340									
7	Größte Durchbiegung bei 180°	35	41	38	1,84	35	41	38	2,00
8	Größte Durchbiegung beliebig	38	42	40,1	1,81	36	41	39	1,73

nenten verwendet. Zusätzlich wird nach dem Anbringen der Befiederung der Papiertest auf den Distanzen 1 m, 5 m und 10 m wiederholt und ggf. die Einstellungen von Compoundbogen und Pfeilaufgabe nachjustiert. Im unteren Teil von **Abb. 3** ist exemplarisch das Ergebnis eines befiederten Pfeils im Papiertest dargestellt.

Vor Durchführung der eigentlichen Versuche wird der freie Pfeilflug auf einer Distanz von 50 m durch visuelle Beobachtung überprüft. Alle Versuche wer-

den in einem wind- und wettergeschützten Raum durchgeführt. Die Zielscheibe wird sehr gut beleuchtet, um ein präzises Anvisieren zu ermöglichen. Die Genauigkeit aller eingesetzten Komponenten, Produkte, der Schießmaschine und ihres Bedieners wird durch die Pfeilgruppierung in **Abb. 4** veranschaulicht. Der oberste Pfeil in **Abb. 4** wurde zuerst geschossen. Nach der Neuausrichtung des Visiers trafen alle weiteren Pfeile den X-Ring in der Mitte der World Archery (WA) 80 cm Auflage. Für alle Schüsse

wird eine 80 cm WA-Auflage verwendet. Die Durchmesser der Ringe dieser Auflage sind: kleiner X-Ring 4 cm, Zehner-ring 8 cm, Neunerring (alle gelben Ringe) 16 cm.

Zur Bestimmung der Größe der Pfeilgruppierung werden je Versuch (Passe) nur sechs Pfeile aus einem Satz geschossen. Werden mehr als sechs Pfeile je Versuch geschossen, kann es zu einer ungenauen Bewertung kommen, da mit hoher Wahrscheinlichkeit ein geschossener Pfeil einen in der Zielscheibe steckenden Pfeil trifft und damit abgelenkt wird. Trifft dennoch ein geschossener Pfeil einen schon steckenden Pfeil, wird der letztgeschossene Pfeil von der Zielscheibe entfernt und nochmals geschossen. Zur Ermittlung der Größe der Pfeilgruppierung wird anschließend der äußere Abstand der Pfeilgruppe in horizontaler und vertikaler Richtung gemessen. Alle durchgeführten Versuche werden zehnmal wiederholt.

Statistische Analyse

Die Datenauswertung erfolgt mit dem Softwareprogramm IBM SPSS Statistics 26. Die auszuwertenden Messdaten sind unabhängig voneinander und ordinalskalierte Mittelwerte. Da die Mittelwertunterschiede von insgesamt acht bzw. vier Gruppen miteinander verglichen werden, wird der Kruskal-Wallis-Test (H-Test) bei einem Signifikanzniveau von a priori $p \leq 0,05$ angewendet. Des Weiteren wird beim paarweisen Vergleich zusätzliche die Effektstärke r (Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient) anhand der standardisierten Teststatistik des entsprechenden Tests z und der Mittelwertanzahl n bestimmt. Hierbei gilt nach (Cohen, 1988): $0,1 \leq r < 0,3$: schwacher Effekt, $0,3 \leq r < 0,5$: mittlerer Effekt, $r \geq 0,5$: starker Effekt.

Ergebnisse

Die in horizontaler und vertikaler Richtung gemessenen Gruppengrößen sind als minimale (min.) und maximale (max.) Gruppengröße sowie die sich daraus ergebenden Mittelwerte mit zugehörigen Standardabweichungen s in **Tab. 2** aufgeführt. Alle Pfeile in jeder

Abb. 4 ◀ Beispiel einer Gruppierung auf der 50 m Distanz, geschossen auf eine World Archery (WA) 80 cm 6-Ring-Auflage

Passe gruppieren recht konstant und die Pfeilgruppierung ist sehr gleichmäßig und reproduzierbar.

Vergleich zwischen horizontaler und vertikaler Gruppengröße je Pfeilnummer

Die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche zwischen der horizontalen und vertikalen Gruppengröße je Pfeilschaft und Pfeilnummer (1 bis 8) sind in [Tab. 3](#) dargestellt. Eine Signifikanz zwischen horizontaler und vertikaler Gruppengröße ist hierbei nicht vorhanden.

Bezugnehmend auf die Fragestellung 3 (*Welchen Einfluss hat der Spline auf die Gruppierung?*) werden in [Tab. 4](#) die horizontalen und vertikalen Gruppengrößen je Pfeilschaft mit ausgerichtetem Spline bei 180° und beliebiger Verteilung des Splines miteinander verglichen. Hierbei sind keine signifikanten Unterschiede vorhanden.

Zusätzlich sind in [Abb. 5a](#) die Mittelwerte und Standardabweichungen (Fehlerbalken) der nummerierten Pfeilschäfte aus [Tab. 2](#) dargestellt.

Vergleich zwischen Pfeilschäften

Die bisherigen Vergleiche zwischen horizontaler und vertikaler Gruppengröße sowie zwischen ausgerichteten und beliebig angeordneten Splines zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede vorhanden

sind. Daher werden im nächsten Schritt alle Messwerte je Passe (horizontale und vertikale Gruppengröße) und je Pfeilschaft zu einem Mittelwert zusammengefasst. Für den *Kinetic Pierce Tour 400* geschieht dies mit den Messwerten der Nummern 1 und 2 aus [Tab. 2](#). Es werden je Passe mit den beiden Messwerten 1H (horizontale Gruppierung) und 1V (vertikale Gruppierung) ein Mittelwert gebildet. Gleiches wird mit den Messwerten 2H und 2V durchgeführt. Somit liegen je Pfeilschaft $n = 20$ Messergebnisse bzw. neuen Mittelwerte werden nachfolgend als *gemittelt* bezeichnet und sind in [Tab. 5](#) mit den zugehörigen Standardabweichungen s je Pfeilschaft a bis d aufgeführt. Die paarweisen Vergleiche mit Signifikanz und Effektstärke sind in [Tab. 6](#) dargestellt. Zusätzlich sind in [Abb. 5b](#) die Mittelwerte und Standardabweichungen (Fehlerbalken) der Pfeilschäfte a bis d aus [Tab. 5](#) abgebildet. Anhand der statistischen Auswertung in [Tab. 6](#) ist nur beim Vergleich zwischen den Pfeilschäften c und d kein signifikanter Unterschied vorhanden. Alle anderen Vergleiche zeigen einen signifikanten Unterschied mit starker (c-a, d-a, c-b, d-b) und einmal mit mittlerer (a-b) Effektstärke.

Diskussion

Bezugnehmend auf die Fragestellung 3 zeigen die Versuchsergebnisse in [Tab. 4](#), dass bei gleichem Pfeilschaft mit einmal bei 180° angeordneten Splines (größte Durchbiegung) und einmal mit beliebiger Verteilung des Splines keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind. Wie in Abschnitt „Verhalten des Pfeils beim Abschuss“ beschrieben, besitzt der Spline eine untergeordnete Bedeutung auf die Gruppierung und dessen Größe. Anhand der Auswertung kann bestätigt werden, dass der Spline keine signifikanten Einflüsse besitzt und somit die untergeordnete Bedeutung bestätigt wird.

Die besten Ergebnisse auf der 50 m Distanz werden mit dem *Kinetic Pierce Platinum 400* (c) sowie *Kinetic Pierce Platinum 340* (d) mit Gruppengrößen von im Mittel 37,3 mm und 38,8 mm erreicht. Auch die maximale Gruppenbreite bzw. -höhe von 43 mm und 42 mm gruppiert innerhalb des X-Rings. Wie unter „Methoden“ aufgeführt, ist dies nach der aktuellen Pfeilschaftauswahltablette (Gold Tip LLC, 2020) die empfohlene Konfiguration für den verwendeten Compoundbogen. Da alle Pfeile innerhalb des X-Rings gruppieren, führt dies zur maximal erreichbaren Ringzahl. In [Abb. 6](#) ist die Gruppierung mehrerer Versuchsdurchführungen mit dem *Kinetic Pierce Platinum 400* dargestellt. Die Trefferlage ist sehr gut mittig auf der Auflage.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen des um eine Stufe weicheren *Kinetic Pierce Tour 400* (a) zeigt eine Vergrößerung der Gruppierung im Mittel um ca. 22 % (Mittelwert von 37,3 mm zu 48 mm) zum *Kinetic Pierce Platinum 400* (c). Durch das schwerere Gewicht der Spitze (140 g) verhält sich der *Kinetic Pierce Tour 400* (a) trotz gleichem Spline in seiner Dynamik beim Abschuss weicher als der *Kinetic Pierce Platinum 400* (c) mit einem 100 g Spitzengewicht. Die Auswirkungen eines zu weichen Pfeils und deren Durchbiegung beim Abschuss sind in (Park, 2010) aufgeführt und lassen sich mit den hier durchgeführten Versuchsergebnissen bestätigen. Mit einer maximalen Gruppengröße von 55 mm treffen die meisten Pfeile innerhalb des X-Rings. Die gesamte Gruppierung liegt zudem immer

Tab. 3 Paarweise Vergleiche je Pfeilnummer zwischen horizontaler und vertikaler Gruppengröße

Paarung	Standardteststatistik (-)	Signifikanz (-)	Korr. Sig. ^a (-)	n (-)	r (-)
1H-1V	-0,411	0,681	1,000	20	0,092
2H-2V	-0,773	0,439	1,000	20	0,173
3H-3V	-0,640	0,522	1,000	20	0,143
4V-4H	0,150	0,881	1,000	20	0,033
5H-5V	-2,037	0,062	1,000	20	0,455
6H-6V	-0,792	0,428	1,000	20	0,177
7H-7V	-0,017	0,987	1,000	20	0,004
8V-8H	0,558	0,577	1,000	20	0,125

H horizontal, V vertikal

^aSignifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst**Tab. 4** Paarweise Vergleiche je Pfeilschaft zwischen horizontaler und vertikaler Gruppengröße

Paarung	Standardteststatistik (-)	Signifikanz (-)	Korr. Sig. ^a (-)	n (-)	r (-)
2H-1H	0,193	0,847	1,000	20	0,043
1V-2V	-0,169	0,866	1,000	20	0,038
3H-4H	-0,350	0,726	1,000	20	0,078
4V-3V	0,440	0,660	1,000	20	0,098
5H-6H	-0,379	0,704	1,000	20	0,085
6V-5V	0,865	0,387	1,000	20	0,193
7H-8H	-1,039	0,299	1,000	20	0,232
7V-8V	-0,464	0,643	1,000	20	0,104

H horizontal, V vertikal

^aSignifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst**Tab. 5** Gemittelte Pfeilgruppengröße (horizontale und vertikale Werte zusammengefasst zu einem Mittelwert) je Pfeilschaft bei einer Zieldistanz von 50 m

Nr	Pfeilschaft	Gemittelt (mm)	s (mm)
a	Kinetic Pierce Tour 400	48,0	3,17
b	Kinetic Pierce Tour 300	58,8	3,00
c	Kinetic Pierce Platinum 400	37,3	2,03
d	Kinetic Pierce Platinum 340	38,8	1,98

Tab. 6 Paarweise Vergleiche zwischen Pfeiltypen bei gemittelter Gruppengröße

Paarung ^a	Standardteststatistik (-)	Signifikanz (-)	Korr. Sig. ^b (-)	n (-)	r (-)
a-b	-2,717	0,007	0,04	40	0,430
c-a	4,668	$3,04 \cdot 10^{-6}$	0	40	0,738
d-a	3,51	$4,48 \cdot 10^{-4}$	0,003	40	0,555
c-b	7,385	$1,53 \cdot 10^{-13}$	0	40	1,168
d-b	6,227	$4,75 \cdot 10^{-10}$	0	40	0,985
c-d	-1,158	0,247	1,000	40	0,183

^a0,1 ≤ r < 0,3: schwacher Effekt, 0,3 ≤ r < 0,5: mittlerer Effekt, r ≥ 0,5: starker Effekt^bSignifikanzwerte werden von der Bonferroni-Korrektur für mehrere Tests angepasst

noch innerhalb des Zehnerrings, was zur maximal erreichbaren Ringzahl führt.

Die Größe der Gruppierungen des um zwei Stufen steiferen *Kinetic Pierce Tour 300* (b) im Vergleich zum *Kinetic Pierce Platinum 400* (c) zeigt, dass bei einem um zwei Stufen steiferen Pfeil die Gruppengröße um ca. 36,5 % (Mittelwert von

37,3 mm zu 58,8 mm) zunimmt. Diese weitaus höhere Zunahme der Gruppengröße als bei dem weicheren *Kinetic Pierce Tour 400* (a) kann damit erklärt werden, dass der *Kinetic Pierce Tour 300* (b) einen bis eineinhalb Spine-Sprünge zu steif ist und zudem lediglich eine 100-g-Spitze besitzt. Damit verhält sich der

Kinetic Pierce Tour 300 (b) insgesamt um zwei Spine-Stufen zu steif. Der zu weiche *Kinetic Pierce Tour 400* (a) verhält sich im Vergleich zum *Kinetic Pierce Platinum 400* (c) um nur eine Stufe zu weich (gleicher Spine bei 40 g Unterschied im Spitzengewicht). Würde der *Kinetic Pierce Tour 300* (b) mit einer mindestens 120-g-Spitze geschossen werden, würde die Vergrößerung der Gruppengröße aller Wahrscheinlichkeit nach in einer ähnlichen Größenordnung von 22 % liegen.

Anhand der Versuchsergebnisse wird deutlich, dass ein zu weicher wie auch ein zu steifer Pfeil zu einer signifikanten Vergrößerung der Gruppengröße führen (Fragestellung 2 ist damit beantwortet). Des Weiteren zeigen die Versuchsergebnisse, dass die Pfeilschaftauswahltabelle von Herstellern für eine Pfeilauswahl herangezogen werden können, um eine möglichst optimale Pfeilkonfiguration auszuwählen und demzufolge eine kleine Gruppengröße auf der Zielscheibe zu erzielen. Damit wäre auch die eingangs aufgeworfene Fragestellung 1 beantwortet.

Fazit

Das Hauptziel dieser Untersuchung war die Beurteilung, wie sich der statische und dynamische Spine auf die Größe der Pfeilgruppierung auswirkt. Aus den Versuchsergebnissen kann entnommen werden, dass die Auswahl eines um eine Stufe zu weichen oder zu steifen Spine bzw. Pfeils die Größe der Pfeilgruppierung auf einer Distanz von 50 m um 22 % zunimmt. Bei zwei Stufen in Richtung zu weich oder zu steif nimmt die Größe der Pfeilgruppierung um 36,5 % im Vergleich zu einem optimalen Spine bzw. Pfeil zu. Auch wenn durch die Präzision und Wiederholgenauigkeit der Schießmaschine und der Versuchsdurchführung in einer wind- und wettergeschützten Halle alle verwendeten Pfeilkonfigurationen innerhalb eines maximalen Streukreisdurchmessers von 66 mm auf die Zielscheibe auftrafen, so wird dies bei einer regulären Meisterschaftsrunde im Freien aufgrund von u. a. Umweltbedingungen zu deutlich größeren Streuungen führen. Es ist daher sehr naheliegend, die optimale Pfeilkonfiguration in Anlehnung an

Abb. 6 ◀ Schießergebnisse des Kine-tic Pierce Platinum 400 (c) auf der Distanz von 50 m

die Herstellerempfehlungen zu wählen, um ein höchstmögliches Wertungsergebnis in einer Meisterschaftsrunde zu erzielen.

Da die Herstellerempfehlungen als durchaus sehr gute Richtwerte angesehen werden können, kann es je nach Compoundbogenkonfiguration dazu kommen, dass die optimale Pfeilkonfiguration leicht neben den Herstellerempfehlungen liegt. Um den Aufwand für einen Bogenschützen bei der Pfeilauswahl gering zu halten, sollten neben den Herstellerempfehlungen nur geringfügige Änderungen getestet werden. Aufgrund der aufgeführten Vielzahl an Einflussgrößen auf den dynamischen Spine sollte in einem ersten Schritt mit dem Auszugsgewicht des Bogens experimentiert werden, um damit abzuschätzen, ob die ausgewählte Pfeilkonfi-

guration optimal oder zu weich bzw. zu steif ist.

Des Weiteren zeigen die dargestellten experimentellen Versuchsergebnisse deutlich, dass die Lage und Verteilung des Splines keinen Einfluss auf die Gruppierung besitzen. Auch wenn fertigungs- und materialabhängige Abweichungen in unterschiedlicher Höhe entlang des Pfeilumfangs vorliegen, haben diese Abweichungen und damit der Spline keine signifikanten Auswirkungen auf die Größe der Pfeilgruppierung. Lediglich der Zahlenwert des statischen Spine ist entscheidend für die Pfeilschaftauswahl.

Korrespondenzadresse

Christian Spura
Hochschule Hamm-Lippstadt
Marker Allee 76–78,
59063 Hamm, Deutschland
christian.spura@hshl.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Spura gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Archery, E. (2014). Making sense of arrow spine. <https://eastonarchery.com/2014/07/making-sense-of-arrow-spine/>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- ASTM International (2014). *Standard test method for measurement of Arrow shaft static spine (stiffness)* (S. 2031–2005). : American Society for Testing and Materials F.
- Betzler, N. F. (2010). *The effect of differing shaft dynamics on the biomechanics of the golf swing*. PhD thesis. Edinburgh: Edinburgh Napier University.
- Bowtech Inc. (2020). Reckoning 38 Compound bow. <https://bowtecharchery.com/bows/reckoning-38/>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- Brouillette, M. (2002). On measuring the flexural rigidity distribution of golf shafts. In E. Thain (Hrsg.), *Science and Golf IV: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf* (S. 387–401). London: Routledge.
- Chou, A., & Roberts, O. C. (1994). Golf shaft flex point—an analysis of measurement techniques. In A. J. Cochran & M. R. Farrally (Hrsg.), *Science and golf II* (S. 278–283). London: E & FN Spon.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Gold Tip, L. L. C. (2020). Arrow spine chart. <https://www.goldtip.com/Resources/Calculators.aspx>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- Gold Tip, L. L. C. (2021). Paper tuning. [https://www.goldtip.com/Resources/Tuning-Assembly/Paper-Tuning-\(1\).aspx](https://www.goldtip.com/Resources/Tuning-Assembly/Paper-Tuning-(1).aspx). Zugriffen: 10. Jan. 2021.
- Hamskea Archery Solutions LLC (2020). Trinity Target Pro™ Arrow Rest. <https://www.hamskeearchery.com/product/trinity-target-pro-arrow-rest/>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- Huntley, M. P. (2007). *Comparison of static and dynamic carbon fibre composite golf club shaft properties and their dependence on structure*. Unpublished PhD thesis. Birmingham: University of Birmingham.
- Huntley, M. P., Davis, C. L., Strangwood, M., & Otto, S. R. (2006). Comparison of the static and dynamic behaviour of carbon fibre composite golf club shafts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L-Journal of Materials-Design and Applications*, 220(L4), 229–236.
- MacKenzie, S. J., & Springings, E. J. (2009). Understanding the role of shaft stiffness in the golf swing. *Sports Engineering*, 12, 13–19.
- Mahnken, R. (2019). *Elastostatik* (2. Aufl.). Lehrbuch der Technischen Mechanik, Bd. 2. Berlin Heidelberg: Springer.
- Maltby Design (2020). Deflection board. <http://ralphmaltby.com/products/maltby-design-golf-shaft-deflection-board/>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- Maltby, R. D. (1995). *Golf club design, fitting, alteration, and repair: the principles and procedures* (4. Aufl.). Newark: Ralph Maltby Enterprises.
- Mase, T. (2004). Correcting for local radial deflections when measuring golf shaft flexural stiffness. In M. Hubbard, R. D. Mehta & J. M. Pallis (Hrsg.), *The engineering of sport* (Bd. 5, S. 515–521). Sheffield: International Sports Engineering Association.
- Park, J. L. (2010). The behaviour of an arrow shot from a compound archery bow. *Proc IMechE, Part P: J Sports Engineering and Technology*, 225, 8–21.
- Park, J. L., Aitchison, P. J., Bielby, A. J., Bleakley, V., Carberry, T. P., Ellis, R. M., Kerner, R. D., MacDonalds, A. D., Oosthuizen, D., Panhurst, A. B., & Psarakis, K. (2017). Effect of arrow shaft straightness on arrow grouping. *Proc IMechE, Part P: J Sports Engineering and Technology*, 232, 236–241.
- Products, R. (2020). Arrow spine tester. <https://www.ram-products.com/spinetester-p/cq.htm>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- Spot Hogg Archery Products (2020). Hooter shooter shooting machine. <http://spot-hogg.com/accessories>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.
- VaneTec Inc. (2020). Swift series. <http://vanetec.com/products/vanes/swift-series>. Zugriffen: 30. Okt. 2020.