



WURFARME IM OLYMPISCHEN RECURVE

Die federnden *Arme.*

Wurfarme speichern, was Muskeln geleistet haben — und geben es in Millisekunden ab. Ein **technischer Leitfaden** über Energetik, Werkstoff und Geometrie der wichtigsten Bauteile des Recurvebogens.

Energie, Werkstoff, Geometrie.

Wer einen Recurvebogen in der Hand hält, sieht zwei Streifen Material, die sich biegen. Was diese Streifen tatsächlich tun, ist komplizierter: Sie verwandeln langsame Muskelkraft in explosive Beschleunigung — und tun das mit einer Effizienz, die von drei Faktoren abhängt: wie viel Energie der Wurfarm überhaupt aufnimmt, wie viel davon er als Wärme verliert, und wie stabil er unter der Last des Schusses bleibt.

Dieser Leitfaden erklärt, warum leichtere Wurfarme nicht automatisch besser sind, warum Holz trotz allem noch im Wettkampf gewonnen hat, und warum die Entscheidung zwischen ILF und Formula weniger eine Frage des Geschmacks ist als eine physikalische Abwägung. Wer diese Zusammenhänge versteht, kann Ausrüstung bewusster wählen und Schülern erklären, warum ein Bogen so reagiert, wie er reagiert. Was die Sehne beim Abgleiten mit dem Pfeil macht, steht im Leitfaden „Der gelöste Schuss“; was der Button dabei tut, in „Die Feder im Fenster“. Hier geht es um das, was die Energie erzeugt.

≈ 80 %

typischer Wirkungsgrad moderner Recurvebögen — theoretisches Maximum liegt bei rund 90 %.

2 Kerne

Holz oder Schaum — dieselben Ziele, verschiedene Physik, verschiedene Kompromisse.

2 Systeme

ILF und Formula teilen den Wettkampfsport unter sich auf — aus gutem physikalischem Grund.

© SO LIEST DU DIESEN LEITFADEN

Teil I erklärt die Physik des Wurfarms: Energiespeicherung, virtuelle Masse und Hysterese. Teil II behandelt die Materialfrage. Teil III zeigt, was Geometrie und Schnittstelle leisten. Jeder Abschnitt schließt mit einer Box „An der Schießlinie“.

INHALT

TEIL I · PHYSIK DES WURFARMS

01 Der Wurfarm als Energiespeicher

02 Die virtuelle Masse

03 Wenn Energie zu Wärme wird

TEIL II · WERKSTOFF

04 Holz oder Schaum

05 Laminat und Torsion

TEIL III · GEOMETRIE UND SCHNITTSTELLE

06 ILF und Formula

07 Super-Recurves

Der Wurfarm als Energiespeicher

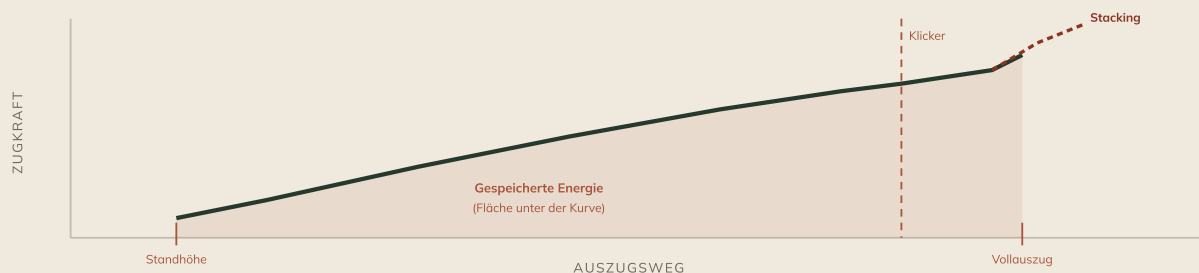
Der Bogen ist ein Energiewandler. Zieht der Schütze, verrichtet er Arbeit — und diese Arbeit akkumuliert sich als elastische Spannung in den Wurfarmen. Die grafische Darstellung dieser Kraft über den Auszugsweg, die sogenannte Kraft-Auszugs-Kurve (Draw Force Curve), macht das Unsichtbare sichtbar: Die Fläche unter der Kurve ist exakt die Energie, die der Pfeil maximal bekommen kann.

Konventionelle Wurfarme verhalten sich auf einem Großteil des Auszugswegs wie lineare Federn — gleichmäßiger Kraftanstieg pro Zentimeter. Kurz vor dem Vollauszug tritt jedoch ein Phänomen auf, das Schützen und Trainer als „Stacking“ kennen: Das Zuggewicht steigt überproportional an, weil der Winkel zwischen Sehne und Wurfarmspitze 90 Grad überschreitet. An diesem Punkt leistet die weitere Zugkraft keine sinnvolle Biegearbeit mehr, sondern leitet sich als Zuglast direkt in die Längsachse des Wurfarms — ein Gefühl wie gegen eine Wand zu ziehen. Für präzises Klickern ist das kontraproduktiv.

Was den Working-Recurve von einem einfachen Langbogen unterscheidet, ist das aktive Abrollen der gebogenen Wurfarmenden während des Auszugs. Bis zur Klickerzone liegt die Sehne noch an der Bauchseite des Wurfarms an; erst im Vollauszug berührt sie nur noch den Nocken. Dieses Abrollen erzeugt die charakteristische, energiereiche Kraft-Auszugs-Kurve des Recurve — und ist der physikalische Grund, warum er einem Langbogen gleichen Zuggewichts energetisch überlegen ist.

KRAFT-AUSZUGS-KURVE

SCHEMATISCH — FLÄCHE UNTER DER KURVE = GESPEICHERTE ENERGIE



Stacking markiert die Grenze. Links der Klicker-Linie steigt die Kraft linear — hier speichert der Bogen effizient Energie. Rechts davon beginnt das Stacking: der Kraftanstieg pro Millimeter wird überproportional groß, der Schütze kämpft gegen Material statt gegen Federwirkung.

© AN DER SCHIESSLINIE

Ein Bogen, der in der Klickerzone stark stackt, macht sauberes Passieren fast unmöglich — die Zugkraft springt zu stark an. Beim Limbkauf lohnt der Vergleich von Kraft-Auszugs-Kurven: **eine flache Kurve im Ankerbereich ist kein Zeichen von Schwäche**, sondern von guter Geometrie.

Die virtuelle Masse

Der Wurfarm kann nicht seine gesamte gespeicherte Energie an den Pfeil abgeben. Er muss einen Teil davon nutzen, um sich selbst und die Sehne aus dem Stillstand zu beschleunigen. Dieses Massenträgheits-Problem fasst die Physik in einem eleganten Konzept zusammen: der virtuellen Masse. Sie beschreibt die fiktive Punktmasse, die — mit Pfeilgeschwindigkeit bewegt — dieselbe kinetische Energie hätte wie alle beweglichen Bogenteile zusammen.

Daraus ergibt sich eine einfache, aber weitreichende Formel für den Systemwirkungsgrad: $\eta = m / (m + K)$. Die Pfeilmasse m steht im Zähler, die virtuelle Masse K im Nenner. Sind beide gleich groß, landet exakt die Hälfte der Energie im Pfeil. Trägt K nur ein Drittel der Pfeilmasse, erreicht das System schon 75 % Effizienz. Das fundamentale Ziel jedes Wurfarm-Konstrukteurs ist daher eindeutig: K minimieren — durch leichte Materialien, insbesondere an den Wurfarmspitzen, wo die Geschwindigkeit im Schuss am höchsten ist.

Diese Formel erklärt auch zwei scheinbare Widersprüche: Ein schwerer Pfeil ist für den Bogen immer effizienter, fliegt aber langsamer. Ein leichter Pfeil fliegt schneller, aber ein größerer Anteil der Energie bleibt im Bogen als Vibration — und als Rückstoß in der Bogenhand. Der physikalische Extremfall ist der Leerschuss, bei dem $m = 0$ ist: Wirkungsgrad null Prozent. Die gesamte Energie, die der Wurfarm gespeichert hatte, wirkt dann unkontrolliert auf seine eigenen Strukturen — mit nahezu unvermeidlichen Folgen.

*Der Leerschuss ist kein Unfall, sondern ein **physikalisches Experiment** — mit vorhersehbarem Ausgang.*

ZUR ILLUSTRATION DER VIRTUELLEN MASSE

© AN DER SCHIESSLINIE

Der fühlbare Rückstoß nach dem Schuss ist ein direktes Maß für die virtuelle Masse. **Ein ruhiger Bogen ist ein effizienter Bogen.** Moderne Leichtbau-Wurfarme reduzieren diesen Rückstoß nicht aus Komfortgründen, sondern weil jede Vibration Energie ist, die nicht im Pfeil landet. Nie ohne Pfeil lösen — niemals.

Wenn Energie zu Wärme wird

Selbst ein perfekt gebauter Wurfarm gibt nie seine gesamte gespeicherte Energie weiter. Der Grund liegt in der inneren Reibung des Materials: Jede Biegung lässt auf molekularer Ebene Polymerketten und Fasern minimal aneinander abgleiten. Diese Bewegung erzeugt Wärme — und diese Wärme ist mechanisch verloren. Das Phänomen heißt Hysterese, und es erklärt, warum ein realer Bogen immer langsamer ist als sein Computermodell.

Bei traditionellen Holzbögen beträgt dieser Verlust durch Hysterese 15 bis 20 % der gespeicherten Energie. Selbst bei sorgfältig gebauten Bögen aus hochwertigem Eibenholz liegt die tatsächliche Pfeilgeschwindigkeit spürbar unter dem theoretischen Wert. Moderne Verbundwerkstoffe — syntaktische Schäume und Karbonfasern — haben die Hysterese deutlich gesenkt, aber nicht eliminiert. Ein realer olympischer Recurvebogen erreicht typischerweise 73 bis 80 % Wirkungsgrad; das theoretische Maximum — begrenzt vor allem durch die Eigenmasse von Sehne und Wurfarmspitzen — liegt bei etwa 90 %.

Eng verwandt ist das Kriechverhalten unter statischer Last: Verweilt der Schütze im Vollauszug, beginnen die Polymerketten auf mikroskopischer Ebene zu fließen und die Rückstellspannung sinkt messbar. Ein Bogen, der flüssig ausgezogen und sofort gelöst wird, überträgt mehr Energie als derselbe Bogen nach mehrsekundigem Halten. Das ist keine Vermutung, sondern Materialphysik — und ein weiterer Grund, warum ein sauberer, konsequenter Schussablauf ballistische Vorteile hat.

© AN DER SCHIESSLINIE

Unnötig lange im Anker zu verweilen kostet Energie — und damit Pfeilgeschwindigkeit und Konsistenz. **Ein flüssiger Schussablauf ist nicht nur mental, sondern physikalisch besser.** Wer im Training zum Einfrieren neigt, verliert nicht nur durch Technik, sondern auch durch Materialphysik.

II

Womit er *gebaut wird.*

Zwei Materialphilosophien dominieren den Wettkampfsport: Holzkerne, die dämpfen, aber schwingen, und Schaumkerne, die neutral reagieren, aber vibrieren. Beide sind physikalisch begründet — und beide fordern ihren Preis.

04 Holz oder Schaum

05 Laminat und Torsion

Holz oder Schaum

Die entscheidende Wahl beim Wurfarmkern ist keine Frage des Stils, sondern der Physik: Holzkerne — meist Ahorn, Bambus oder Hartholzlaminate — haben eine höhere Dichte und damit eine größere virtuelle Masse. Das kostet Pfeilgeschwindigkeit. Dafür absorbiert das zelluläre Gefüge des Holzes Schwingungen hervorragend und dämpft den Rückstoß auf ein Niveau, das Eliteathleten als „ruhig“ oder „weich“ beschreiben. Über hunderte Schüsse im Wettkampftag macht das einen Unterschied in der Gelenkbelastung.

Schaumkerne aus syntaktischem Polyurethan oder Epoxidharz mit eingemischten Hohlglas-Mikrosphären sind drastisch leichter. Die virtuelle Masse sinkt, die Energieübertragung steigt, und die Pfeile verlassen den Bogen schneller. Hinzu kommt eine entscheidende Eigenschaft für den Outdoor-Einsatz: Schaum reagiert weder auf Hitze noch auf Regen. Was viele nicht wissen — der Schaum selbst ist nicht elastisch; er dient nur als Distanzhalter. Die Federwirkung kommt ausschließlich von den umgebenden Carbonfaserschichten. Diese fehlende Dämpfung merkt man: Schaumkern-Wurfarme übertragen Vibrationen nahezu ungefiltert auf das Mittelteil.

TAB. 1 · HOLZKERN VS. SCHAUMKERN

EIGENSCHAFT	HOLZKERN	SCHAUMKERN
Dichte / Virtuelle Masse	Höher — kostet Pfeilgeschwindigkeit	Sehr gering — maximale Energieeffizienz
Vibrationsdämpfung	Sehr gut — ruhiges, weiches Schussgefühl	Gering — hochfrequentes Surren spürbar
Klimastabilität	Hygroskopisch — Zuggewicht kann schwanken	Vollständig stabil bei Hitze und Nässe
Klicker-Zone	Neigung zu früherem Stacking	Linearer, oft als „smooth“ empfunden
Typischer Einsatz	Indoor, Hallensaison, Trainingsalltag	Outdoor, Feldbogen, Hochleistungssport

© AN DER SCHIESSLINIE

Es gibt keine universelle Antwort. Wer täglich viele Schüsse macht und auf Gelenkschonung angewiesen ist, profitiert vom dämpfenden Holzkern. Wer im Outdoor-Wettkampf Geschwindigkeit und Stabilität braucht, greift zum Schaum. **Viele Spitzenschützen wechseln den Kern je nach Saison.**

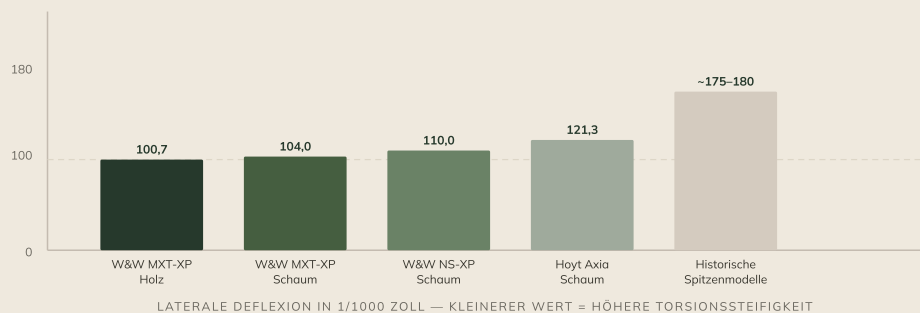
Laminat und Torsion

Was den Kern umgibt, ist das eigentliche Triebwerk: die äußeren Laminatschichten. Karbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFRP) haben glasfaserverstärkte Alternativen in der Spitzenklasse nahezu vollständig verdrängt — weniger Masse bei gleicher Zugfestigkeit bedeutet direkt geringere virtuelle Masse und höhere Pfeilgeschwindigkeit. Die Ausrichtung der Karbonfasern in definierten Kreuzungswinkeln optimiert dabei nicht nur die Energiespeicherung, sondern bestimmt eine Eigenschaft, die über Präzision entscheidet: die Torsionssteifigkeit.

Torsionssteifigkeit beschreibt, wie stark sich ein Wurfarm unter seitlicher Last verdreht. Beim Lösen rollt die Sehne von den Fingern ab und erzeugt ein seitliches Drehmoment. Ein Wurfarm, der sich unter dieser Last stark verdreht, lässt die Sehne in einem leicht schiefen Winkel abgehen — mit messbarer Streuung im Trefferbild. Ein verwindungssteifer Wurfarm zwingt die Sehne sofort zurück in die Mittellinie. Messreihen von Jake Kaminski an Spitzenmodellen (42-Pfund-Long, standardisiertes Prüfungsgewicht) belegen, wie weit die Industrie hier in wenigen Jahren vorangekommen ist.

TORSIONSSTEIFIGKEIT IM VERGLEICH

LATERALE DEFLEXION IN 1/1000 ZOLL — MESSUNG NACH KAMINSKI ARCHERY (2025), 42 LB LONG



Kleinerer Wert = steifer = fehlerverzeihlicher. Moderne W&W-Topmodelle erreichen unter 105 Tausendstel Zoll — halb so viel Verwerfung wie Spitzenmodelle noch eine Generation zuvor. Der Holzkern (MXT-XP Holz) zeigt geringfügig höhere Torsionsresistenz als die Schaumvariante.

© AN DER SCHIESSLINIE

Torsionssteifigkeit ist kein Marketingbegriff, sondern messbar. **Ein verwindungssteifer Wurfarm verzeiht Ablassfehler physikalisch** — er dreht die Sehne schneller zurück in die Mittellinie, bevor der Pfeil sie verlässt. Wer mit inkonsistenter Streuung kämpft, sollte prüfen, ob der Wurfarm oder die Technik verantwortlich ist.

III

Form und *Verbindung.*

Wie ein Wurfarm geformt ist, bestimmt seine Kraft-Auszugs-Kurve. Wie er mit dem Mittelteil verbunden ist, bestimmt, wo im System die Spannung wirkt. Beides ist eine Frage der Physik — und des Kompromisses.

06 ILF und Formula

07 Super-Recurves

ILF und Formula

Zwei Befestigungssysteme dominieren den modernen Recurvesport. Das International Limb Fitting (ILF), ursprünglich als „Grand Prix“ von Hoyt in den 1980er Jahren entwickelt und seither Industriestandard, hält den Wurfarm über eine Schwalbenschwanzführung und einen Tillerbolzen. Die Hebelwirkung zwischen diesen beiden Punkten beträgt rund 3,5 Zoll — auf diesem Bereich konzentriert sich die gesamte Scherkraft des Schusses. Der entscheidende Vorteil: Schützen können Mittelteile und Wurfarme beliebiger Hersteller kombinieren. ILF ist das offenste Ökosystem im Bogensport.

Das Formula-System (Paralever), das Hoyt 2009 einführte, verlängert diesen Hebelarm auf rund 5 Zoll — knapp zwei Zoll mehr. Dadurch wandert der eigentliche Biegepunkt des Wurfarms weiter nach außen, weg von der starren Riser-Aufnahme. Nach Herstellerangaben reduziert das die Materialspannung im kritischen Übergangsbereich um mehr als 40 %. Die Auszugskurve in der Klickerzone fällt in der Praxis tatsächlich linearer aus — weniger Stacking, ruhigerer Durchzug. Der Nachteil ist struktureller Natur: Formula-Wurfarme ragen über die ILF-Aufnahme hinaus und sind physisch inkompatibel mit ILF-Mittelteilen. Der Schütze kauft ein System, nicht ein Einzelteil.

Welches System besser ist, hängt davon ab, was man priorisiert. ILF bietet Flexibilität und einen riesigen Markt an kompatiblen Teilen. Formula bietet nach Herstellerangaben mehr Materialschonung und ein sanfteres Auszugsgefühl — aber bindet den Schützen an Hoyt oder lizenzierte Partner.

© AN DER SCHIESSLINIE

Wer Wurfarme häufig wechseln oder von verschiedenen Herstellern kombinieren will, ist mit **ILF** besser bedient. Wer langfristig im Hoyt-Ökosystem bleibt und Wert auf das weichere Auszugsgefühl legt, kann **Formula** in Betracht ziehen. Junioren und Anfänger: ILF — die Auswahl ist größer, die Einstiegskosten niedriger.

Super-Recurves

Hersteller wie Border Archery oder Uukha verfolgen eine geometrisch radikale Idee: die sogenannten Super-Recurves. Im ungespannten Zustand biegen sich ihre Enden so stark zurück, dass sie fast wieder in Richtung des Schützen zeigen. Diese extreme Krümmung verändert die Kraft-Auszugs-Kurve fundamental. Zu Beginn des Auszugs baut die Sehne sehr eng anliegend Zugkraft auf — ein massiver Preload. Nähert sich der Schütze dem Vollauszug, entrollt sich die Sehne vollständig über den tiefen „Haken“, und die Kurve flacht weitgehend ab.

Das ballistische Ergebnis: Die Fläche unter der Kurve — also die gespeicherte Energie — ist bei gleichem Endgewicht deutlich größer als bei konventionellen Wurfarmen. Super-Recurves schießen schnelle Pfeile. Zudem reagiert die abgeflachte Ankerkurve kaum auf kleine Auszugsvariationen, was sie für Blankbogenschützen interessant macht: Zwei Millimeter mehr oder weniger Auszug verändern die Rückstellkraft kaum.

Warum dominieren Super-Recurves dann nicht den olympischen Recurvesport? Weil der olympische Schütze den Klicker braucht — und der Klicker eine spürbare „Wand“ voraussetzt. Das lineare Stacking konventioneller Wurfarme liefert genau diesen Widerstand, der dem Schützen signalisiert: Jetzt ist der Moment. Die abgeflachte Zone der Super-Recurves macht diesen Moment weich und schwer zu kontrollieren. Moderne Carbontechnologie hat zwar die frühere Torsionsschwäche dieser extrem gekrümmten Designs weitgehend behoben — aber gegen die Klicker-Physik kommt auch sie nicht an.

© AN DER SCHIESSLINIE

Super-Recurves sind für **Blankbogen und Feldbogen** eine echte Option — besonders für Schützen, die auf kurzen Distanzen viel Energie wollen und keinen Klicker nutzen. Im olympischen Recurve bleiben sie ein Randphänomen: Das weiche Ankerverhalten und der präzise Klicker passen physikalisch nicht zusammen.

Vier Einsichten

Ein Wurfarm ist nicht besser, der schnellere Pfeile schießt — sondern der, der bei jedem Schuss gleich reagiert.

FACHBEREICH BOGENSPORT · ASC GÖTTINGEN

01

Weniger virtuelle Masse, mehr Pfeil. Jedes Gramm, das an Wurfarmspitze und Sehne eingespart wird, landet als Energie im Pfeil statt als Vibration in der Bogenhand.

02

Hysterese ist unvermeidlich — aber beeinflussbar. Flüssiger Schussablauf, geringere Materialdehnung durch breite Profile und synthetische Kerne reduzieren den Energieverlust als Wärme.

03

Holz oder Schaum ist keine Glaubensfrage. Holz dämpft, Schaum ist schneller und klimastabil. Wer beides versteht, kann je nach Saison und Disziplin bewusst wählen.

04

Torsionssteifigkeit schützt vor Fehlern. Sie ist der messbare Ausdruck von Fehlerverzeihung — und erklärt, warum moderne Spitzenmodelle bei der Streuung einen physikalischen Vorteil haben.



Die federnden *Arme.*

Energie, Werkstoff, Geometrie — die drei Faktoren, die bestimmen, was ein Wurfarm leistet und welchen Kompromiss er eingeht. Für Trainerinnen, Trainer und Schützen, die ihre Ausrüstung verstehen wollen statt nur kaufen.

Herausgegeben vom Fachbereich Bogensport im ASC Göttingen von 1846 e.V. Text und Konzept: Hartmut Stöpler. Der Autor schreibt unabhängig. Bogenschießen im ASC Göttingen: Anfängerkurse, Training, Bogenplatz in Grone und Bogenevents — olympisch, Feldbogen, 3D und Halle.

www.bogenschiessen-goettingen.de