

Dieser Beitrag erschien in der März/April-Ausgabe 1996  
des Bogensport Magazins  
im Verlag Herrmann Kuhn GmbH & Co. KG, Villingen-Schwenningen

## Bogencharakteristik

Wie hätten Sie's denn gern, hart oder weich?

Horst Reindl

Beim Bogenschießen muß eine sehr feine Muskelsteuerung unter hoher Muskelspannung dafür sorgen, daß das Zielen und das Lösen des Schusses ohne Verreißen erfolgt. Dazu darf der Bogen sich am Ende des Auszugsvorganges nicht "hart" anfühlen, d.h. das Zuggewicht sollte gut beherrschbar sein oder zumindest nicht stark ansteigen. Nebenbei, der Begriff Zuggewicht hat sich eingebürgert, obwohl es sich um eine Zugkraft und nicht um ein Gewicht handelt.

Wie muß sich nun ein Bogen verhalten, damit er sich angenehm ziehen läßt?

### Federwirkung

Beim Bogen wirken die Wurfarme als einseitig eingespannte Stäbe, die durch an den Enden angreifende Kräfte gebogen werden. Damit verhalten sich die Wurfarme im Prinzip wie eine Feder, die in die Länge gezogen und dann losgelassen wird. Betrachten wir nur den Dehnvorgang, so nimmt bei einer linearen Feder die Dehnkraft proportional zum Weg zu, das Verhältnis Kraft  $F$  zu Weg  $x$  ist konstant. Dieser Wert heißt Federkonstante:  $C=F/x$ .

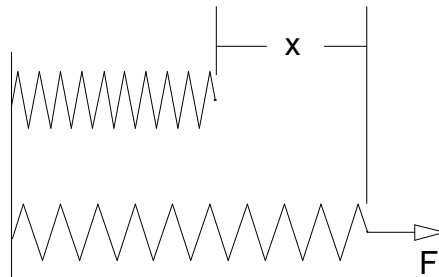


Abb. 1: Federdehnung

Zeichnet man nun für eine Feder die Kraft in Abhängigkeit vom Dehnweg auf, so erhält man für die Kraft-Weg-Kurve eine Gerade mit der Steigung  $C$ . Die Gerade verläuft um so steiler, je stärker die Feder ist.

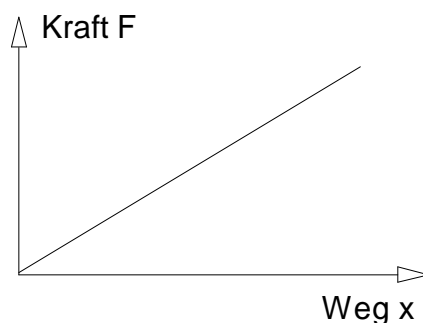


Abb. 2: Kraft-Weg-Kurve für eine Feder

Durch geeignete Formgebung oder durch Ändern der Zuggeometrie kann man bei der Feder erreichen, daß die Kraft-Weg-Kurve nicht mehr gerade verläuft, sondern mit zunehmendem Weg steiler oder flacher ansteigt. Genau das hat man bei den Recurve- und Compoundbogen getan.

### Kräfte am Bogen

In Abb. 3 ist die Kräfteverteilung am Bogen dargestellt. Die Auszugskraft  $F$ , der die Druckkraft  $F_D$  das Gleichgewicht hält, wird zerlegt in die beiden Kräfte  $F_1$  und  $F_2$ , die beide in der Richtung der Sehne wirken. Sie können wieder zerlegt werden in die Kräfte  $F_3$  senkrecht zum Wurfarm und  $F_4$  in Wurfarm längsrichtung. Entsprechende Kräfte treten am unteren Wurfarm auf. Zur Biegung der Arme tragen nur die Kräfte senkrecht zu den Wurfarmen bei, die in Wurfarmrichtung bewirken nur eine Stauchung. Von der Auszugskraft  $F$  wird also nur ein Teil zur Biegung der Wurfarme genutzt. Zum Beschleunigen des Pfeiles wirkt aber trotzdem eine Kraft von der Größe  $F$ , allerdings in entgegengesetzter Richtung.

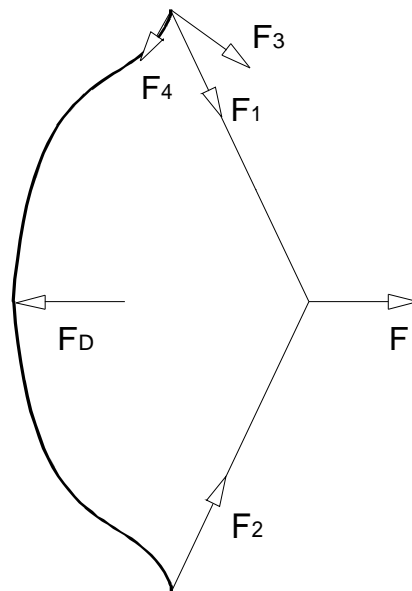


Abb. 3: Kräfte am Bogen

### Recurvewirkung

Wie in Abb. 4 dargestellt, liegt beim Recurvebogen die Sehne an den Wurfarmenden zunächst mehrere Zentimeter an und wird mit zunehmendem Auszug freigegeben. Der Angriffspunkt der Kraft  $F_1$  und damit der Kraft  $F_3$  liegt also zunächst weiter innen und wandert dann nach außen bis ans Wurfarmende. Durch diese Hebelverlängerung wird die zum Biegen benötigte Kraft reduziert.

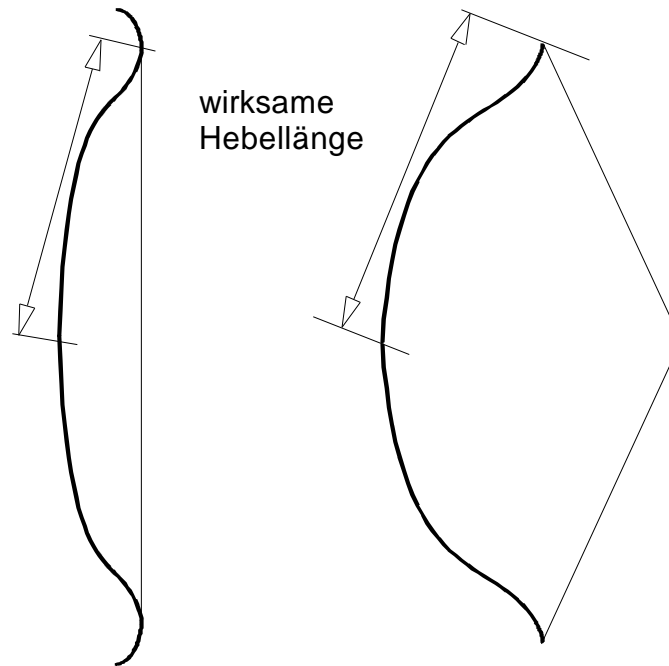


Abb. 4: Recurvewirkung

Damit erreicht man, daß am Anfang des Auszuges, also bei niedrigen Zugkräften, die Kraft steiler und danach flacher ansteigt. Die daraus resultierende Kurve ist in Abb. 5 dargestellt.

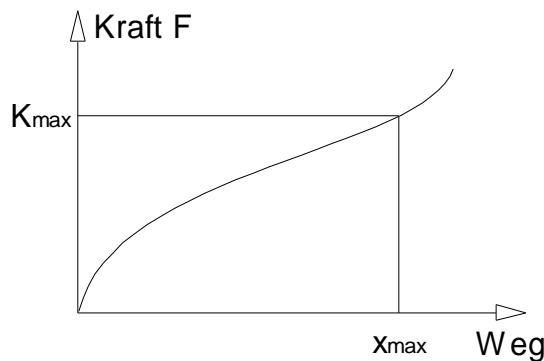


Abb. 5 Kraft-Weg-Kurve beim Recurvebogen

Die Wirkungsweise und Technik gebogener Wurfarmsenden war schon seit der Antike bekannt und wurde von den Steppenvölkern Asiens vervollkommnet. Zum Teil war die Biegung extrem ausgebildet, wodurch die Wurfarms leicht instabil wurden und umkippen konnten.

Die Kurve läßt erkennen, ob sich der Bogen "hart" oder "weich" ziehen läßt. Ein Bogen läßt sich weich ziehen, wenn im Endbereich des Auszuges wenig Kraft pro Weg gebraucht wird, d. h. wenn die Kurve flach verläuft. Abb. 5 zeigt, daß die Auszugskraft anfangs stärker, danach aber weniger als bei einer linearen Feder zunimmt. Bei noch höherem Auszug steigt die Kraft dann wieder steiler an. Die Steigung der Kurve kann also als Maß für die Härte des Bogens angesehen werden. Nun sind aber die Auszugslängen der Schützen unterschiedlich. Ob sich ein Bogen hart oder weich anfühlt, hängt von der persönlichen Auszugslänge ab, je nachdem, ob die Endauszugslänge auf dem flachen oder wieder ansteigenden Teil der Kurve liegt. Schützen mit langem Auszug empfinden Bogen im allgemeinen härter und brauchen längere

Bogen, um diesen Effekt zu kompensieren. Ein anderer Grund, warum Schützen mit langem Auszug längere Bogen brauchen, der aber für unsere Betrachtung keine Bedeutung hat, hängt mit dem Winkel zusammen, den die Sehne beim Auszug am Nockpunkt bildet.

## Zugverhalten des Compoundbogens

Beim Compoundbogen nutzt man einen der Recurvewirkung ähnlichen Effekt. Man erreicht durch eine Untersetzung ähnlich einem Flaschenzug und durch exzentrische Umlenkrollen eine günstige Kraft-Weg-Kurve.

Ein Compoundbogen besitzt sehr steife Wurfarme. Die zum Verformen notwendigen Kräfte werden durch den Flaschenzug auf eine ergonomisch beherrschbare Größe untersetzt. Gleichzeitig erlaubt der Flaschenzug, den Bogen kürzer zu bauen. Das ist interessant für die Bogenjagd, wofür der Compound ja entwickelt wurde. Mit dem Flaschenzug allein würde die Zugkraft zwar untersetzt, stiege aber trotzdem bis zum Ende des Auszuges immer weiter an. Beim Compound geht aber ab einem bestimmten Auszug die Kraft wieder unter das Maximum zurück, d. h. die Zugkraft ist bei vollem Auszug kleiner als z. B. bei halbem Auszug. Abb. 6 zeigt die Compoundkurve.

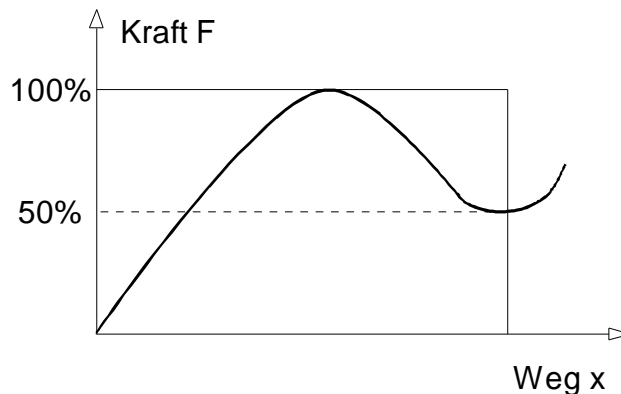


Abb. 6: Kraft-Weg-Kurve beim Compoundbogen

Diese Form der Kraftkurve beim Auszug wird nur durch die exzentrischen Umlenkrollen erreicht, der Flaschenzug hat damit nichts zu tun. Durch die Form der Umlenkrollen kann der Verlauf der Kraft-Weg-Kurve angepaßt werden. Es ist dadurch z. B. möglich, das Maximum für einen längeren Weg konstant zu halten oder eine sehr steile Wand am Ende des Auszugs zu erzeugen. Bei einem Compoundbogen mit runden, zentrischen Rollen würde die Auszugskraft überproportional ansteigen, d. h. der Bogen würde mit zunehmendem Auszug immer härter.

## Energie des Bogens

Neben der ergonomischen Verbesserung der Kraft-Weg-Kurve durch die Recurve- und Compoundbauweisen liegt ein weiterer Vorteil dieser Bauarten darin, daß im Bogen bei gleicher Endauszugskraft mehr Energie gespeichert werden kann als in einer linearen Feder. Die zusätzliche Energiezufuhr erfolgt am Anfang des Auszuges, wo die aufzubringenden Zugkräfte noch niedrig sind.

Eine maßgebliche Größe für die erzielbare Pfeilabschußgeschwindigkeit ist die beim Auszug im Bogen gespeicherte Spannungsenergie, die beim Abschluß in die Bewegungsenergie des Pfeiles umgewandelt wird. Die Spannungsenergie hängt nur vom

Auszugsweg und den dabei auftretenden Kräften ab, nicht aber von der Zeit. Sie ist das Wegintegral der Kraft und wird durch die Fläche unter der Kraft-Weg-Kurve (schraffierter Bereich) dargestellt.

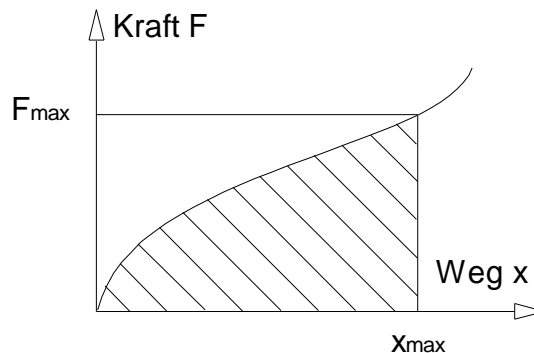


Abb. 7: Spannungsenergie beim Recurvebogen

Für eine Feder ist dieser Energieinhalt als Fläche eines Dreiecks leicht zu berechnen:  $0,5 \cdot F_{\max} \cdot x_{\max}$ . Beim Recurve oder beim Compound ist das nicht mehr so einfach. Man kann sich behelfen, indem man die Kurve auf Millimeterpapier zeichnet und die Fläche durch Auszählen der Kästchen bestimmt. Unter Berücksichtigung der Dimensionen erhält man die gespeicherte Arbeit oder potentielle Energie. Ein Bogen hat um so mehr Energie gespeichert, je größer die Fläche und je stärker die Kurve gegenüber dem linearen Kraftverlauf "ausgebeult" ist. Bei einem Recurvebogen ist der Energiezuwachs im Vergleich zu einer Feder ca. 15 bis 18%, beim Compound liegt er noch höher. Wie wir später sehen werden, kann man diesen Faktor benutzen, um näherungsweise den Energieinhalt des Bogens zu berechnen.

### Wirkungsgrad

Leider wird nicht die ganze Energie, die wir beim Auszug in den Bogen einbringen, zur Beschleunigung des Pfeiles ausgenutzt, sondern nur ein Anteil von 60 bis 80%. Dieser Anteil ist der Wirkungsgrad  $\eta$  (eta). Der Rest der Energie verpufft ungenutzt bei der Beschleunigung der Wurfarms und durch Reibung. Den Wirkungsgrad  $\eta$  kann man aus dem Energieerhaltungssatz berechnen, wenn die Pfeilmasse  $m$ , die potentielle Energie  $E_{\text{pot}}$  und die Pfeilgeschwindigkeit  $v_0$  bekannt sind.

$$\eta = \frac{v_0^2 \cdot m}{2 \cdot E_{\text{pot}}}$$

Die Pfeilmasse kann man entweder aus den Bogen- und Zubehörkatalogen ermitteln, wo sich Angaben über Gewichte von Schäften, Spitzen, Einsätzen, Nocken und Befiederung finden. Einfacher geht es, wenn Sie 10 Pfeile auf einer Brief- oder Küchenwaage mit einer Genauigkeit von 1 Gramm wiegen. Sie erhalten dann das Pfeilgewicht auf 0,1 Gramm genau.

Die potentielle Energie kann man mit der Millimeterpapiermethode ermitteln oder mit einer Näherung, da wir wissen, daß ein Recurvebogen etwa 15 bis 18% mehr Energie als eine lineare Feder speichert. Damit gilt:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{Feder}} \cdot r = 0,5 \cdot F \cdot x \cdot r$$

In der Gleichung bedeuten F die Auszugskraft, x den Auszugsweg und r einen "Recurvefaktor" 1,15 bis 1,18.

Die Pfeilabschußgeschwindigkeit  $v_0$  muß man messen. Meßgeräte dafür werden im Bogenfachhandel angeboten.

Daraus ergibt sich die Gleichung für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{v_0^2 \cdot m}{F \cdot x \cdot r}$$

Hier muß man v in m/s, m in kg, F in Newton und x in m eingeben.

Damit Sie mit dem Zuggewicht in lbs rechnen können, müssen sie Umrechnungsfaktoren berücksichtigen. Wenn Sie  $v_0$  in m/s, m in kg, x in m und ZG in lbs einsetzen, wird die Gleichung zu:

$$\eta = 0,225 \cdot \frac{v_0^2 \cdot m}{ZG \cdot x \cdot r}$$

Beispiel: ein Schütze hat einen Auszug von 45 cm und schießt mit einem 40-lbs-Bogen einen Pfeil von 17 g (Auszug ist hier nicht die Strecke vom Griff bis zur Pfeilnocke, z. B. 28 Zoll, sondern die Länge, um die die Sehne gezogen wird). Er erreicht damit eine Abschlußgeschwindigkeit von 67 m/s. Der Wirkungsgrad beträgt dann 0,8, d. h. ca. 80% der beim Ziehen gespeicherten Energie werden auf den Pfeil übertragen.

Je höher der Wirkungsgrad, desto geringer kann das Zuggewicht des Bogens sein, um die gleiche Pfeilgeschwindigkeit zu erreichen.

## Leistung

Wie schon erwähnt, hängt die im Bogen gespeicherte Energie nicht von der Geschwindigkeit ab, mit der Sie den Bogen ziehen, wohingegen die Leistung, die Sie dabei erbringen, um so größer ist, je schneller Sie den Auszug bewerkstelligen. Nehmen wir an, Sie ziehen einen 40-lbs-Bogen in ca. einer Sekunde 45 cm weit aus, dann haben Sie eine Leistung von etwa 4,4 Watt oder 0,006 PS erbracht, während der Bogen beim Beschleunigen eines Alu-Carbon-Pfeiles von 17 Gramm eine Leistung von etwa 4,5 kW oder 6 PS, also das Tausendfache, erreicht. Die Bogenleistung ist um so höher, je leichter der Pfeil ist, da für leichte Pfeile der Bogen die Energie in kürzerer Zeit abgibt.

Das ist auch einer der Gründe, warum man einen Bogen nie "trocken", d. h. ohne Pfeil schießen soll. Beim Loslassen der Sehne ohne Pfeil muß die ganze gespeicherte Energie von den Wurfarmen, der Sehne und dem Mittelstück aufgenommen werden, wodurch schwere Schäden bis zum Bruch auftreten können. Wenn dann nur die Sehne reißt, haben Sie noch Glück gehabt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß ein Bogen eine dynamische Maschine ist, bei der die vom Schützen beim Ziehen mit ziemlich geringer Leistung ausgeübten Kräfte im Bogen eine Spannungsenergie aufbauen, die mit einem hohen Wirkungsgrad und unter Abgabe einer hohen Leistung in die Bewegungsenergie des Pfeiles umgewandelt wird.