

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

## Der Sultan hat den Bogen raus Wie weit die Pfeile fliegen

Horst Reindl

Thutmosis III. regierte von 1490 bis 1436 v. Chr. im alten Ägypten, zeitweise als Mitregent der Königin Hatschepsut. Auf einer Stele im Month-Tempel von Erment sind die Heldentaten des ägyptischen Pharaos verewigt. Neben Kriegserfolgen werden auch seine Leistungen als Bogenschütze geschildert. Er weihte dem Tempel "eine Scheibe von bearbeitetem Kupfer von drei Finger Dicke mit seinem Pfeil darin, wobei er den Pfeil drei Handbreiten hinten hatte herauskommen lassen". Sein Nachfolger Amenophis II. aber übertraf ihn noch, wie auf einer anderen Stele an der großen Sphinx von Gizeh geschrieben steht: "Er schoß einen Pfeil auf eine Scheibe aus asiatischem Kupfer von einer Handbreit Dicke, daß er aus ihr wieder hervorkam und dann zur Erde fiel". Auch Odysseus, am trojanischen Krieg (um 1200 v. Chr.) maßgeblich beteiligt, war ein treffsicherer Bogenschütze, dessen Bogen nur er allein spannen konnte. Diese Geschichten sind natürlich nicht nachprüfbar, genausowenig wie die Bogen-taten, die aus neuerer Zeit berichtet werden.

Etwa 1794 erzielte der Botschafter des türkischen Reiches in London, Mahoud Effendi, mit Pfeil und Bogen eine Weite von 482 yards, das sind ca. 441 Meter, tat diese Leistung zum Erstaunen der Zuschauer jedoch mit der Bemerkung ab, sein Herrscher, der Sultan Selim III. würde diese Entfernung nach Belieben übertreffen. Der Pascha ließ seinen Botschafter auch nicht im Wort und soll 4 Jahre später tatsächlich einen Pfeil 889 Meter weit geschossen haben.

Was müssen das für Schützen gewesen sein! Was müssen das für Bogen gewesen sein, mit Zuggewichten von weit über 100 lbs!

Vergleichen wir damit doch einmal unsere Bogen! Wie weit können wir mit unserem Material schießen, wie weit kann man überhaupt mit Pfeil und Bogen schießen?

Wenn auch die Beweise für den Rekordschuß Selims dürftig sind, hat man ihn doch bis in unsere Zeit als Maßstab genommen und versucht, diese Weite zu erreichen. 1939 war man erst bei 417 Metern angelangt und der Rekord des türkischen Sultans hat schließlich 178 Jahre gehalten.

Die amerikanische National Archery Association (NAA) richtete ein eigenes "Flight Committee" ein, das regelmäßig Weitschießwettbewerbe und Rekordversuche in vielen Bogenklassen durchführte und auch heute noch aktiv ist. Es war ein großer Tag für die amerikanischen Flight-Schützen, als am 11. September 1976 Bruce Odle auf einem Salzsee in Utah als Erster mit rund 985 Metern die Bestmarke des Türkenherrschers überbot.

Sicher hatte das Bogenschießen im damaligen osmanischen Reich einen anderen Stellenwert als in unserem Jahrhundert und die Kunst des Bogenbauens war im Abendland verloren gegangen. Die türkischen Bogen hatten einen starken Recurve und waren in Verbundbauweise konstruiert, die erst vor wenigen Jahrzehnten wieder in den Bogenbau Eingang gefunden hat. So konnte der Rekord des Haremsfürsten bis in unsere Zeit halten.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die derzeitigen Rekorde, die Rekordhalter und das verwendete Material.

<b>Herren</b>	<b>Erster Schuß weiter als Selims 889 m</b>	<b>Weltrekord Recurve</b>	<b>Weltrekord Compound</b>	<b>Weltrekord Fußbogen</b>
Weite (Meter)	984,89	1222,02	1207,39	1854,4
Schütze	Bruce Odle (Recurve)	Don Brown	K. Strother	Harry Drake
Jahr	1976	1987	1992	1971
Bogenzuggewicht (lbs)	119	120	160	200

Bogenlänge (Zoll)	41,5	35	42	42
Pfeillänge (Zoll)	18 3/8	14	16	14
Pfeildurchmesser (mm)	6,35	4,76	4,76	4,76
Pfeilmasse (g)	12,6	8,75	9,07	7,45

Auch die Damen mischten bei den Wettbewerben mit und erreichten erstaunliche Ergebnisse:

Damen	Recurve	Compound	Fußbogen
Weite (Meter)	950,39	738,30	1018,48
Schützin	April Moon	April Moon	Arlyne Rhode
Jahr	1981	1987	1978

Sogar mit Langbögen wurden beachtliche Weiten erzielt: 199,11 m bei den Damen und 325,9 m bei den Herren.

Bei den heutigen Rekorden werden dünne, kurze, sehr leichte Pfeile aus Graphit / Kunstharz-Vollmaterial verwendet. Ein Pfeil, wie wir ihn schießen, ist dagegen mit ca. 28 Zoll fast doppelt so lang und wiegt zwischen 17 (Alu-Carbon) und 24 (Alu) Gramm, also etwa doppelt bis dreimal soviel wie die "Flight"-Pfeile.

Die Rekordbogen unterscheiden sich erheblich von unseren Turnierbogen: Um einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen, sind sie auffallend kurz und leicht. Die kurzen Pfeile erfordern Overdraw und ein Vorbaugriffstück, das Bogenfenster ist zentral ausgeschnitten. Die Pfeilaufnahme besteht aus Borsten und der Pfeil ist gegen Herunterfallen gesichert, um Verletzungen zu vermeiden.

Wie sieht nun die Flugkurve eines solchen Rekordschusses aus? Wie hoch ist der höchste Punkt der Flugbahn, wie groß ist der Abschlußwinkel, der Auftreffwinkel, die Endgeschwindigkeit des Pfeiles usw.? Alle diese Fragen lassen sich für den luftleeren Raum leicht beantworten, da ein fliegender Körper im Vakuum nur von der Schwerkraft beeinflusst wird. Wie man in jedem Physikbuch unter dem Kapitel "Der schiefe Wurf" nachlesen kann, lautet die Gleichung für die Flugbahn eines unter dem Winkel  $\alpha$  mit der Geschwindigkeit  $v_0$  in Bewegung gesetzten Körpers (Wurfparabel):

$$(1) \quad y = x \cdot \tan \alpha - \frac{g \cdot x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} ,$$

wobei  $y$  die Flughöhe bei der waagerechten Entfernung  $x$  vom Abschluß und  $g$  die Erdbeschleunigung (9,81 m/sec<sup>2</sup>) ist.

Mit dieser Gleichung (1) kann man bequem alle möglichen Pfeilflugdaten ausrechnen: größte Weite, zugehörige größte Flugbahnhöhe, günstigster Abschlußwinkel, Flugdauer, Auftreffwinkel (= Abschlußwinkel) und viele andere Werte, die im luftleeren Raum bei gleichen Anfangsbedingungen für alle Körper gleich sind, ob Pfeil, Stein oder Kugel, ob Floh oder Elefant, da ja der Luftwiderstand null ist.

Wie man sieht, sind die Zusammenhänge für das Vakuum ziemlich einfach. Nun interessieren uns aber die Flugbahnen in der Luftatmosphäre, da wir ja nicht im luftleeren Raum schießen, wo übrigens die Befiederung wirkungslos wäre. Der Pfeil würde wegen der nicht zentrischen Krafteinleitung beim Abschluß in unkontrollierter Weise auf seiner Bahn sowohl seitlich um seinen Schwerpunkt rotieren als auch sich überschlagen.

Doch zurück zu unserem Problem!

Jeder hat beim Fahrradfahren den Luftwiderstand schon am eigenen Leibe verspürt. Dieser Widerstand ist um so größer, je höher die Geschwindigkeit ist, und zwar wächst er mit dem Quadrat der Geschwindigkeit. Dies führt bei der Berechnung zu Gleichungen, die nicht mehr so einfach zu lösen sind. Man muß sich mit Näherungsmethoden behelfen. Allerdings wird der Rechenaufwand sehr groß, da man die Flugdauer in viele kleine Zeitabschnitte aufteilen muß, in denen man jeweils die obige Formel (1) gelten läßt. Für unsere Zwecke genügen

Zeitintervalle von ca. 1/1000 Sekunde. In jedem Abschnitt sind eine ganze Reihe von Parametern zu berechnen. So würde eine Flugdauer von 1 Sekunde, was einer Entfernung von ca. 60 bis 70 Metern entspricht, schon etwa 10000 Einzelrechnungen erfordern, für einen Schützen ein Zeitaufwand, der ihn viel zu lange vom Schießen abhalten würde! Zum Glück gibt es den Computer! Mit einem einfachen PC läßt sich das Problem in Sekundenschnelle lösen, vorausgesetzt, wir haben zuvor ein Programm, z. B. in BASIC, geschrieben.

Jetzt brauchen wir nur noch die Werte für Abschlußgeschwindigkeit, Pfeilgewicht und Pfeildurchmesser, Widerstandsbeiwert, Luftdichte und Erdbeschleunigung, und schon spuckt unser Sklave PC alle gewünschten Informationen aus.

So können wir mit unserem Programm ausrechnen, daß Selims Pfeil beim Abschluß etwa 117 m/s, das sind rund 421 km/h schnell gewesen sein muß, um bei 889 m einzuschlagen. Nach dem Energieerhaltungssatz gilt für die Abschlußgeschwindigkeit:

$$(2) \quad v_0 = \sqrt{r \cdot \frac{\eta}{m} \cdot ZG \cdot 0,4536 \cdot 9,80665 \cdot SW},$$

und wir sehen, daß sie nur vom Wirkungsgrad  $\eta$  des Bogens, dem maximalen Zuggewicht ZG (in lbs), dem Sehnenzugweg SW (in Metern), der Pfeilmasse m (in kg) und einem Faktor r abhängt, der von der Kraft-Wegkurve des Bogens bestimmt wird. Der Sehnenzugweg SW ist die Strecke, um die die Sehne gezogen wird. Der Wert 0,4536 ist der Umrechnungsfaktor von lbs in kg und 9,80665 die Erdbeschleunigung in m/s<sup>2</sup>.

Bei einem Zugweg von ca. 60 cm (bis hinter's Ohr), einer Pfeilmasse von 25 Gramm und einem Wirkungsgrad von 75% - ein guter Turnierbogen hat mehr als 80% - brauchte der Sultan ein Zuggewicht von etwa 146 lbs, um den Pfeil auf 117 m/s zu bringen.

Auf ähnliche Weise können wir die Bahndaten für die heutigen Weitschußrekorde bestimmen:

Schütze	Selim III.	Bruce Odle	Don Brown	Kevin Strother	Harry Drake
Bogenkategorie	Recurve	Recurve	Recurve	Compound	Fußbogen
Weite (m)	889	984,89	1222,02	1207,39	1854,4
Abschußgeschwindigkeit (m/s)	117,0	134,5	141,4	140,0	197,8
Abschußgeschwindigkeit (km/h)	421,2	484,2	509,0	504,0	712,1
Endgeschwindigkeit (m/s)	78,2	78,1	89,9	89,6	103,3
Endgeschwindigkeit (km/h)	281,4	281,2	323,5	322,4	372,0
Größte Flughöhe (m)	238,4	268,8	328,8	324,5	507,7
Abschußwinkel (°)	41,5	40,4	41,0	41,1	39,1
Auftreffwinkel (°)	52,4	54,8	53,2	53,1	56,2
Flugdauer (sec)	13,9	14,7	16,3	16,2	20,2
Flugbahnlänge (m)	1039	1156	1429	1411	2181

Besonders interessant ist die Wirkung des Luftwiderstandes, der die Anfangsgeschwindigkeiten recht deutlich abbremst und außerdem bewirkt, daß die größte Weite nicht bei 45° Abschlußwinkel wie im Vakuum erzielt wird, sondern bei flacheren Winkeln. Bemerkenswert sind auch die Höhen, die die Pfeile erreichen und die Flugzeiten.

Wie sieht aber die Geschichte für uns aus?

Mit der o.a. Gleichung (2) können wir für verschiedene Pfeiltypen die maximalen Abschlußgeschwindigkeiten und mit unserem Programm die übrigen Bahndaten ermitteln.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Ergebnisse. Für die Pfeile (Alu und Alu-Carbon) wurde eine Länge von 28 Zoll angenommen.

Recurvebogen	Alu-Pfeile						Alu-Carbon-Pfeile					
Bogenzuggewicht (lbs)	28	32	36	40	44	48	28	32	36	40	44	48
Pfeildurchmesser (mm)	6,75	6,75	7,14	7,54	7,54	7,94	5,4	5,5	5,5	5,5	5,6	5,7

Pfeilmasse (g)	22,1	22,1	23,2	23,2	23,2	24,0	15,5	17,0	17,0	17,0	18,3	18,9
Abschußgeschw. (m/s)	50,7	54,0	55,9	59,0	61,8	63,5	60,1	61,3	65,1	68,6	69,3	71,2
Abschußgeschw. (km/h)	182	195	201	212	223	229	216	221	234	247	249	256
max. Weite (m)	241	270	286	210	336	348	330	344	383	420	429	450
Endgeschwindigkeit (m/s)	46,7	49,3	50,3	51,8	53,6	54,2	54,1	55,3	57,9	60,3	61,1	62,3
Endgeschwindigkeit (km/h)	168	177	181	187	193	195	195	199	209	217	220	224
Abschußwinkel (°)	44,1	44,0	43,9	43,8	43,7	43,6	44,0	44,0	43,9	43,8	43,9	43,8
Aufschlagwinkel (°)	46,9	47,1	47,3	47,7	47,9	48,2	47,2	47,3	47,4	47,7	47,6	47,7
Größte Flughöhe (m)	62	70	74	80	87	91	85	89	99	108	111	116
Flugdauer (sec)	7,1	7,5	7,7	8,0	8,4	8,6	8,3	8,5	8,9	9,4	9,5	9,7
Flugbahnlänge (m)	277	312	330	357	388	403	381	397	442	484	495	519

Es zeigt sich, daß die mit normalen Turnierbogen erzielbaren Weiten doch stark hinter den Rekorden zurückbleiben. Das ist kein Wunder, da unsere Standardpfeile schwerer, dicker und länger sind, und die Rekordbögen ein zwei bis dreimal so hohes Zuggewicht und auf Grund der Bauweise einen höheren Wirkungsgrad aufweisen. Dafür sind die Turnierbögen besser in der Präzision!

Deutlich sind auch die Unterschiede zwischen den Werten für Alu- und Alu-Carbon-Pfeile, wobei letztere leichter und dünner sind und einen etwas kleineren Widerstandsbeiwert haben.

Außer bei speziellen Turnieren, wie dem sogenannten Golfschießen oder beim Clout-Wettbewerb, die ein bißchen vom Gewöhnlichen abweichen, kommen wir kaum dazu, solche Weitschießversuche anzustellen und die hohen Flugbahnen der Pfeile zu beobachten. Aber die Krümmung der Flugbahn ist auch schon bei den üblichen Wettkampferfernungen zwischen 18 und 90 Meter zu erkennen.

Die folgende Tabelle faßt die Bahndaten für einen Bogen mit 40 lbs zusammen:

<b>Alu-Pfeile</b>	Abschußgeschwindigkeit: 58,7 m/s (211 km/h)						
Entfernung (m)	18	25	30	50	60	70	90
Endgeschwindigkeit (m/s)	58,1	58,1	57,7	57,1	56,8	56,5	55,8
Endgeschwindigkeit (km/h)	209	209	208	206	204	203	201
Abschußwinkel (°)	1,48	2,05	2,48	4,17	5,03	5,90	7,69
Auftreffwinkel (°)	1,50	2,08	2,50	4,25	5,15	6,06	7,95
Größte Flughöhe (m)	0,11	0,22	0,33	0,92	1,33	1,83	3,08
Flugdauer (sec)	0,31	0,43	0,52	0,87	1,04	1,22	1,59

<b>Alu-Carbon-Pfeile</b>	Abschußgeschwindigkeit: 68,6 m/s (247 km/h)						
Entfernung (m)	18	25	30	50	60	70	90
Endgeschwindigkeit (m/s)	68,1	67,9	67,8	67,2	67,0	66,7	66,2
Endgeschwindigkeit (km/h)	245	244	244	242	241	240	238
Abschußwinkel (°)	1,08	1,50	1,81	3,03	3,65	4,28	5,54
Auftreffwinkel (°)	1,09	1,52	1,84	3,07	3,71	4,36	5,68
Größte Flughöhe (m)	0,08	0,16	0,23	0,67	0,97	1,32	2,21
Flugdauer (sec)	0,26	0,37	0,44	0,74	0,89	1,05	1,34

Auf 90 Meter steigt der Alu-Pfeil immerhin noch auf 3,08 Meter über die Verbindungslinie Bogen-Ziel, während ein Alu-Carbon-Pfeil eine flachere Flugbahn mit 2,21 Metern Bahnhöhe beschreibt und damit einen geringeren Abschußwinkel erlaubt.

Im Verlauf unserer Betrachtung tauchte immer wieder der Begriff Wirkungsgrad auf, der bei allen Maschinen, Getrieben, Geräten, Motoren usw. eine große Rolle spielt. Der Wirkungsgrad ist der Anteil an der zugeführten Energie, der genutzt werden kann. Beim Bogenschießen wird beim Auszug im Bogen Energie gespeichert, von der nur etwa 80% auf den Pfeil übertragen werden. Diese Energie wird in sehr kurzer Zeit, nämlich während der Beschleunigungsphase des Pfeils bis zum Verlassen der Sehne vom Bogen abgegeben. Das

geschieht in ca. 1/100 Sekunde. In dieser kurzen Zeitspanne leistet der Bogen etwa 3,9 kW oder 5,3 PS beim Alu-Pfeil, bzw. 4,5 kW oder 6,2 PS beim Alu-Carbon-Pfeil. Dabei erfährt der Alu-Pfeil am Anfang eine Beschleunigung von etwa  $6136 \text{ m/s}^2$ , das ist die 626-fache Erdbeschleunigung ( $g$ ). Der Alu-Carbon-Pfeil wird beim Abschluß mit  $8373 \text{ m/s}^2$ , also mit rund 853  $g$  beschleunigt. Die Pfeile haben dadurch am Anfang der Beschleunigung eine träge Masse von etwa 14,5 kg !

Diese erstaunlichen Zahlen zeigen, daß unsere Bogen doch sehr wirkungsvolle Wurfgeräte sind. Vielleicht denken Sie beim nächsten Schuß daran, daß Sie eine Hochleistungsmaschine mit etwa 6 PS in Händen halten.