

**Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main**

FB 05, Institut für Sportwissenschaften

Schwerpunkt Leichtathletik

SS 2009

Dr. Stephan Turbanski

**Biomechanik des Stabhochsprungs**

- Die Entwicklung des Stabhochsprungs aus biomechanischer Sicht -

Tag der Abgabe: 26.05.2009

vorgelegt von: Christoph Walther, L3, 8.Semester

**Inhalt**

<u>1</u>	<u>Einleitung</u>	<u>2</u>
<u>2</u>	<u>Geschichte des Stabhochsprungs</u>	<u>2</u>
<u>3</u>	<u>Leistungsentwicklung im Stabhochsprung</u>	<u>4</u>
<u>4</u>	<u>Die moderne Stabhochsprungstechnik</u>	<u>5</u>
<u>5</u>	<u>Das Bewegungsproblem des Stabhochsprungs aus biomechanischer Sicht</u>	<u>6</u>
<u>6</u>	<u>Perspektive des Stabhochsprungs</u>	<u>10</u>
<u>7</u>	<u>Literatur</u>	<u>11</u>
	7.1 Links zum Thema Stabhochsprung im Physikunterricht .....	12

## 1 Einleitung

Der Stabhochsprung ist die einzige leichtathletische Disziplin, bei der ein Hilfsmittel verwendet werden darf. Der Stabhochsprungstab ist heute meist aus Fiberglas oder aus Karbon, bei den Profis zwischen 5,00 und 5,20m lang. Das Material hält extremen Belastungen stand und kann zum Beispiel über 120° gebogen werden ohne zu brechen. Der Stab kann Spannungsenergie speichern, die etwa der Hälfte der kinetischen Energie entspricht, die ein Springer bei vollem Anlauf mitbringt (vgl. Linthorne 2000, 206).

Mit diesem Gerät ist es den besten Springern möglich bis zu 6,00m hoch zu springen, dabei ist es nicht nur eine technisch anspruchsvolle, sondern auch unter den Zuschauern sehr beliebte und spektakuläre Disziplin. So gibt es beispielsweise auch „Show-Springen“ in Hallen oder Einkaufszonen bei denen die Zuschauer hautnah dabei sein können. Bei all dieser Faszination über Material und erbrachte Leistungen, stellt man sich oft die Frage, wie das denn alles funktionieren kann. Ein Sprung dauert nur ca. zwei Sekunden und diese Zeit ist voll gepackt mit Aktionen, die man mit bloßem Auge kaum erkennen kann. Nebenbei erscheint der Stabhochsprung in verschiedenen Fachlehrplänen zur Physik zum Thema Mechanik (vgl. 6.1 Links zum Thema Stabhochsprung im Physikunterricht). Es stellt sich daher die Frage, wie der Stabhochsprung zu dieser Hightech-Sportart werden konnte und wie diese Entwicklung der Stabhochsprungleistungen biomechanisch zu erklären ist. Natürlich ist es interessant sich die Frage zu stellen, ob die Stabhochspringer in Zukunft an der 7m Marke kratzen können; wie sieht die ideale Technik dazu aus?

Im Folgenden werde ich kurz auf die geschichtliche Entwicklung des Stabhochsprungs kommen. Danach ist die Leistungsentwicklung im Stabhochsprung dargestellt. Im dritten Teil wird diese Entwicklung unter anderem biomechanisch betrachtet. Außerdem wird die Frage nach der optimalen Technik gestellt. Abschließend soll die Perspektive des Stabhochsprungs aufgezeigt werden.

## 2 Geschichte des Stabhochsprungs

Die Frage nach dem „Wer hat's erfunden?“ lässt sich kaum beantworten. Jung (2007) behauptet Stabhochsprung hätte seine Ursprünge in den schottischen Highland Games und verbreitete sich so über Emigranten nach Kanada, USA und den Rest der Welt. Stabhochsprung sei ursprünglich von Militärs verwendet worden, aber nicht, um in die Höhe zu springen, sondern um Gräben bzw. weite Distanzen zu überwinden. In anderen Quellen liest man von ersten Spuren ursprünglichen Stabhochsprungs im alten Griechenland um 100 v. Chr., wo mit Lanzen oder Stöcken gesprungen wurde (vgl. Barber 2005, 148).

Casper (1996) bestätigt dies und ergänzt, dass zum Programm der jährlichen *Taliteanspiele in Irland* (1829 v. Chr. bis 554 n. Chr.) der Stabhochsprung gehörte. Gutsmuths lehrte diese Disziplin am Philanthropinum in Schnepfenthal bei Gotha. Seine besten Schüler sollen Höhen um 2,70 m übersprungen haben. In *England* wurde 1866 die erste Meisterschaft ausgetragen. Als erster deutscher Rekordhalter wird Reiser (Frankfurt/M.) 30 Jahre später mit 2,70 m geführt.

Vor 1870 wurde Stabhochsprung in Form einer „Klettertechnik“ ausgeführt. Die Springer kletterten den Stab empor und schwingen sich über die Latte. Ab 1870 näherte sich die



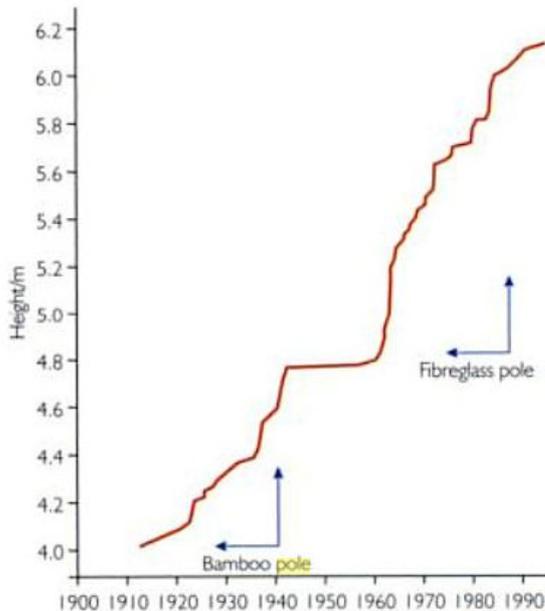
**Abbildung 1** Harry Babcock Olympia 1912 (Rosenbaum)

Technik der heutigen an. Jedoch waren die Stäbe zu hart und steif, um Höhen über 3,00m zu meistern. 1896 wurde Stabhochsprung eine olympische Disziplin, die Goldmedaille wurde für eine Höhe von 3,30m vergeben (vgl. Crego 2003, S. 123). 1912 war die Siegerhöhe mit 3,95m schon wesentlich höher (vgl. Abbildung 1).

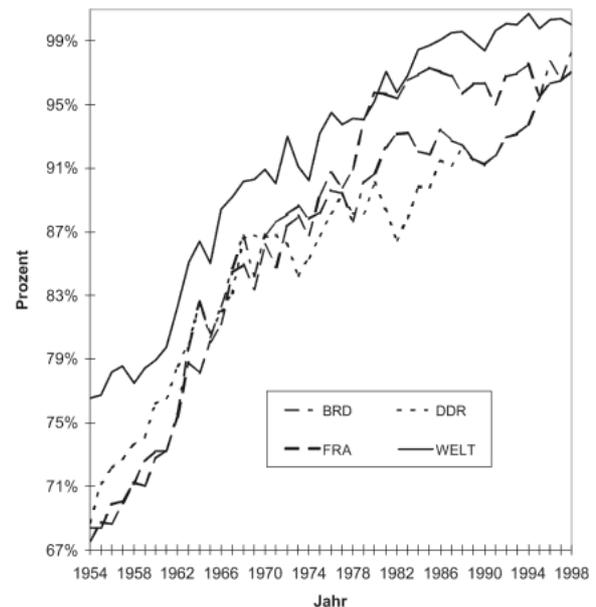
Nach dem zweiten Weltkrieg wurden Metallstäbe verwendet. Bis im Stabhochsprung seit 1961 Kunststoffstäbe (Glasfibrerstäbe) Verwendung finden. Mit ansteigenden Rekordhöhen wurde die Landung im Sand zu einem gefährlichen Faktor. Die Einführung von weichen Matten war ein weiterer wichtiger Faktor der eine Rekordjagt ermöglichte (vgl. Barber 2005, 148).

### 3 Leistungsentwicklung im Stabhochsprung

Die Leistungsentwicklung im Stabhochsprung ist besonders durch die Einführung technischer Innovationen geprägt. Angefangen bei der Einführung von Landematten, Kunststoffbahnen und immer leichteren Schuhen, bis hin zur bahnbrechenden Einführung von Glasfibrerstäben entwickelte sich die Disziplin in der Leichtathletik. Die Sprungtechnik passte sich diesen materialen Gegebenheiten immer weiter an.



**Abbildung 2** Entwicklung des Stabhochsprung Weltrekords der Männer (vgl. Bultin 2000, 43).



**Abbildung 3** Leistungsentwicklung im Stabhochsprung der Männer (Durchschnitt der Plätze 1-3 1998 = 100%) (vgl. Singler, Treutlein 2003, 41).

Vor allem in den Jahren 1961 bis 1964 ist eine starke Entwicklung der Rekordleistungen zu beobachten. Wenig später erst kommt die Stabinnovation nach Europa. Die Leistungen in der DDR und BRD erhöhen sich fast gleichzeitig (vgl. Abbildung 3) zu dieser Zeit. Singler und Treutlein (2003, 43) bezeichnen den Stabhochsprung als ein Musterbeispiel für den Einfluss technologischer Innovation auf die Leistungsentwicklung.

Der Stabhochsprung Rekord der Männer heute steht bei 6,14m, aufgestellt von Sergey Bubka<sup>1</sup> in Sestriere 1994. Bei den Frauen stellte Yelena Isinbayeva 2008 in Beijing (National Stadium) eine neue Bestmarke mit 5,05m (vgl. IAAF 2009).

<sup>1</sup> Sowohl Sergey Bubka (Serhij Bubka, Sergej Bubka) als auch Yelena Isinbayeva (Jelena Issinbajewa, Elena Isinbeava) sind in unterschiedlichen Schreibweisen zu finden. Ich habe mich an dieser Stelle für die englische Übersetzung entschieden.

Bubkas 15 Jahre alter Rekord demonstriert dessen Überlegenheit in der Disziplin, aber auch ein Ende der Leistungsentwicklung im Stabhochsprung (bisher).

#### 4 Die moderne Stabhochsprungstechnik

Stabhochsprung ist schon immer eine der komplexesten leichtathletischen Disziplinen. Vom Springer werden sowohl hohe konditionelle Voraussetzungen als auch ein hohes Maß an Körperbeherrschung und Bewegungsverständnis verlangt.

Die Technik ist vor allem im Stabhochsprung von großer Bedeutung, da die eigene Technik einen großen Teil der Leistung ausmacht. Ansteigende konditionelle Fähigkeiten bei gleichzeitig stagnierender Technik führen keineswegs zu optimalen Leistungen (Grundlach 1991, 7). Wie aber sieht die Technik im heute Stabhochsprung aus?

„Bewegungselemente formen die Grundlagen des Stabhochspringens; sie beginnen mit den ersten Anlaufschritten und setzen sich weiter fort im Absenken des Stabes, Absprung, Pendel, Aufschwung, Drehumstütz, Abstoß und der Landung. (Petrov 1985, S.85)“

Dies sind nach Petrov, der unter anderem Trainer von Sergey Bubka war, die wichtigsten Elemente im Stabhochsprung. Auch der Deutsche Leichtathletik-Verband (1993, S.96ff) unterscheidet die Stabhochsprungstechnik in verschiedene Phasen. In den Anlauf, Einstich, Absprung, C-Position, L-Position, I-Position, Zugumstütz und die Landung (vgl. Abbildung 4).

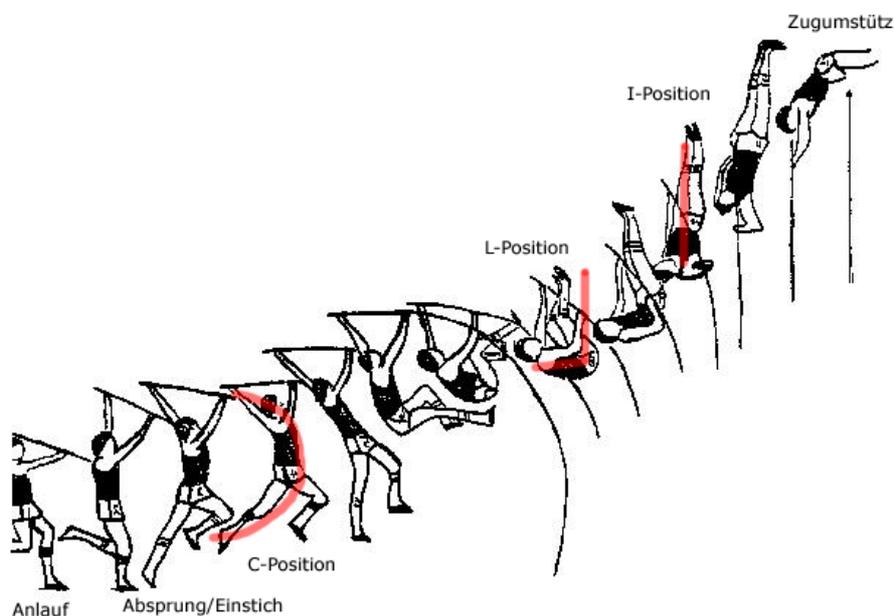


Abbildung 4 Phasenbild Stabhochsprung (DLV, 1993, S.93)

Seit der Nutzung von elastischen Sprungstäben hat sich dieses Technikleitbild durchgesetzt.

Die Technik der Weltklassespringer unterscheidet sich jedoch trotzdem. Hier lassen sich insbesondere die russische Schule um Petrov, sowie die französische Schule um Houvion unterscheiden. Wobei die russische Schule auf maximierte Rotationsgeschwindigkeiten des

Springers am Stab beim Aufrollen, d.h. hohe kinetische Energie des Springers während des Sprungs, abzielt. Die französische Schule hingegen argumentiert mit der Maximierung der Stabbiegung und damit Maximierung der potentiellen Energie des Stabes und daher relativ niedrigen Rotationsgeschwindigkeiten des Springers am Stab beim Aufrollen (vgl. Czingon 1993 zit. nach BLV 2003).

## 5 Das Bewegungsproblem des Stabhochsprungs aus biomechanischer Sicht

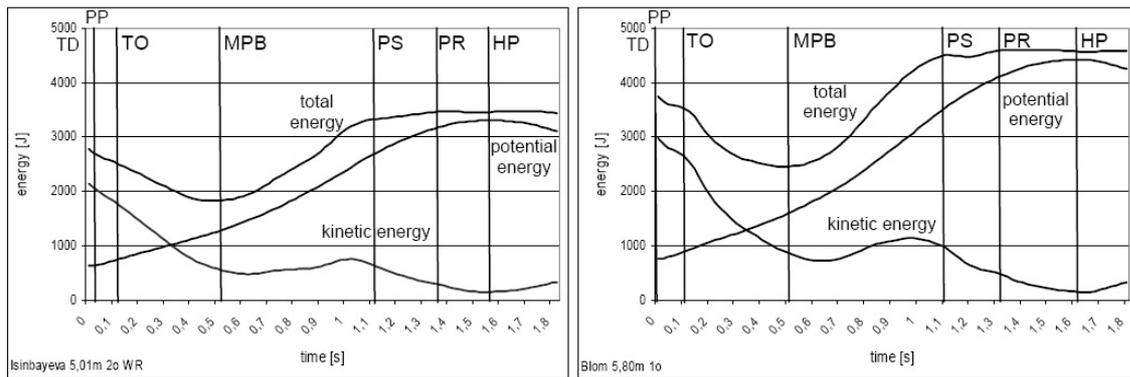
Aus biomechanischer Sicht liegt das Bewegungsproblem des Stabhochsprungs in der Umwandlung von Anlaufgeschwindigkeit (Bewegungsenergie/ kinetische Energie) in Sprunghöhe (Lageenergie/ potentielle Energie). Diese Transformation erfolgt sowohl durch den Athleten als aktives Teilsystem und dem passiven Teilsystem - dem Stabhochsprungstab. Diese Umwandlung kann in zwei Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase verliert der Athlet an mechanischer Energie und überträgt diese auf den Stab. Dessen Spannungsenergie nimmt bis zum Punkt der maximalen Stabbiegung stetig zu. In der zweiten Phase, bis der Körperschwerpunkt (KSP) des Athleten seinen höchsten Punkt erreicht hat, übergibt der Stab die gespeicherte Spannungsenergie an den Athleten. In dieser Phase hat der Athlet stets die Möglichkeit durch aktive Arbeit am Stab dem System weitere Energie hinzuzufügen (vgl. Schade 2007, 24).

Die mechanische Energie des Springers setzt sich demnach aus der potentiellen und kinetischen Energie zusammen:

**Formel 1 Berechnung der totalen Energie des KSP des Athleten mit  $v_{CM}^2$  : Geschwindigkeit des KSP,  $H_{CM}$  : Höhe des KSP, m: Masse des Athleten**

$$E_{CM_{Athlete}} = \underbrace{m \cdot g \cdot H_{CM}}_{E_{pot}} + \underbrace{\frac{m \cdot v_{CM}^2}{2}}_{E_{kin}}$$

Abbildung 5 zeigt den Verlauf von Lage- und Bewegungsenergie in zwei Sprüngen. Es sind deutlich die beiden Phasen zu erkennen. Die Reduktion der kinetischen Energie des Athleten, sowie ein leichter Anstieg der potenziellen Energie mit einer negativen Energiebilanz bis zur maximalen Biegung des Stabes und eine positive Energiebilanz in der zweiten Phase des Sprungs bis zum Maximum der potenziellen bzw. totalen Energie, bei gleichzeitiger Abnahme der kinetischen Energie.



**Abbildung 5 Individuelle Darstellung der mechanischen Energieverläufe von Blom (5,80m) und Isinbayeva (5,01) aus Schade et al. (2007, 41).**

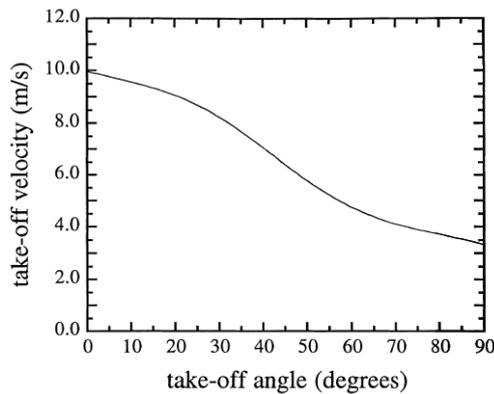
Diese energetische Darstellung des Bewegungsproblems lässt eine einfache Interpretation der Leistungsentwicklung des Stabhochsprungs durch die Einführung von Fiberglasstäben zu: Die Sprunghöhe erhöhte sich extrem, da in der zweiten Phase wesentlich mehr Energie auf den Athleten übertragen werden kann. Somit wird der Athlet durch den Stab nach oben geschleudert.

Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden, denn die Abdruckhöhen in der zweiten Phase erhöhten sich kaum. Als großer Vorteil hingegen war der wesentlich höhere Griff auszumachen. Mit Metall- oder Bambusstäben wurde um die 4,10m hoch gegriffen. Dies war 60cm niedriger als einige Jahre danach mit dem Fiberglasstab (4,70m Griffhöhe) (vgl. Linthorne 2000, 208). Dies belegt auch Tabelle 1, mit einer Differenz von ca. 70cm zwischen starren und flexiblen Stäben, die hauptsächlich auch einer Erhöhung der Netto-Griffhöhe beruht.

**Tabelle 1 Bestleistungen, Netto-Griffhöhen und Überhöhung (Effektivität der Technik bei Sprüngen mit starrem und flexiblem Stab bis 1980 (Schmolinsky, 1983)).**

Stäbe	Athleten	P.B. (m)	Netto-Griffhöhe (m)	Technik (m)
Flexible Stäbe	Nordwig	5,50	4,67	0,83
	Kozakiewicz	5,50	4,60	0,90
	Kishkun	5,45	4,55	0,90
	Seagren	5,40	4,55	0,85
	Pennel	5,40	4,38	1,02
	Mean	5,45	4,55	0,90
Starre Stäbe	Bragg	4,80	3,95	0,85
	Gutowski	4,82	3,97	0,85
	Richards	4,73	3,93	0,80
	Preussger	4,70	3,85	0,85
	Mean	4,76	3,92	0,84
	Difference	0,69	0,63	0,06

Einen weiteren Punkt der Überlegenheit von flexiblen Stäben gegenüber starren Stäben hat Linthorne (2000, 208) untersucht und modelliert. Es ist möglich mit flacheren Absprungwinkeln zu arbeiten. Er betont, dass der optimale Absprungwinkel bei der Nutzung von Fiberglasstäben wesentlich geringer ist als bei Bambusstäben, dadurch kann der Springer



**Abbildung 6 Absprunggeschwindigkeit in Abhängigkeit zum Absprungwinkel eines Weltklassestabhochspringers (Linthorne 2000, 209).**

den Verlust an kinetischer Energie beim Absprung verringern. In seinem mathematischen Modell kann er realistische Sprünge, sowohl mit dem starren als auch mit dem flexiblen Stab modellieren. Dabei berücksichtigt er den Energieverlust im Körper des Athleten durch den Aufprall des Stabs an der Rückseite des Einstichkastens. Dieser Energieverlust

ist maßgeblich beeinflusst durch den Absprungwinkel. Der Energieverlust ist am größten, wenn der Springer parallel zum Stab abspringt und

am geringsten, wenn senkrecht zum Stab abgesprungen wird.

Linthorne errechnet den optimalen Absprungwinkel mit dem starren Stab ( $30^\circ$ ) und mit dem flexiblen Stab ( $18^\circ$ ). Abbildung 6 zeigt, die zum jeweiligen Absprungwinkel möglichen Absprunggeschwindigkeiten. Jedoch ist beim Springen mit dem flexiblen Stab zu beachten, dass der mögliche Absprungwinkel wiederum von der Stabhärte abhängt. Mit einem sehr weichen Stab muss mit einem hohen Absprungwinkel gearbeitet werden, wodurch wiederum mehr kinetische Anlaufenergie verloren geht (vgl. Linthorne 2000, 215).

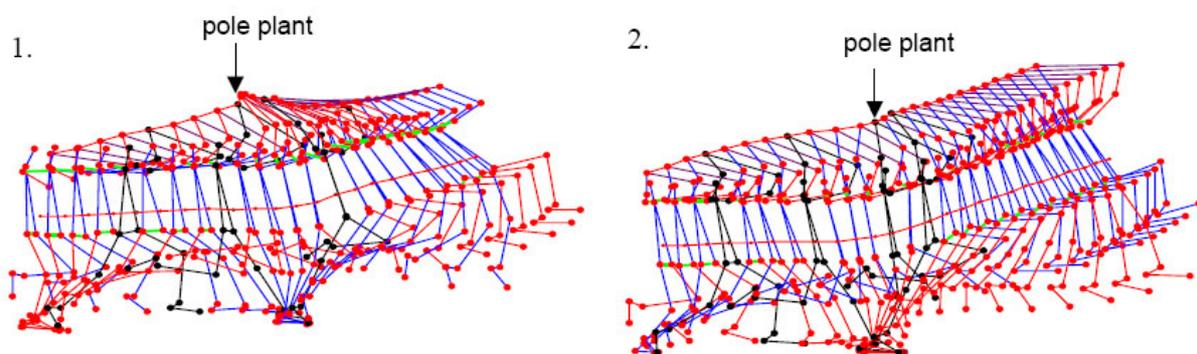
Schade (2004, 2007a, 2007b) stellt insbesondere fest, dass sich biomechanische Untersuchungen des Stabhochsprungs oft an einer Betrachtung des Athleten selbst festbeißen. Er stellt daher die Interaktion zwischen Athleten und Stab in den Vordergrund. Für ihn ist die positive Energiebilanz eines Sprungs ein entscheidendes Qualitätsmerkmal.

Bei bekannter Anfangsenergie (Lage des KSP und der horizontalen Geschwindigkeit im Absprung) und bekannter Endenergie (Lage und Geschwindigkeit des KSP am höchsten Punkt) kann die gemeinsame Energiebilanz von Einstich, Absprung und Stabphase als Leistungskriterium bestimmt werden.

**Tabelle 2 Sprunghöhen und energetische Parameter für verschiedene Sprünge (aus Schade 2007a<sup>2</sup>, Czingon 2008)**

Athlet	Sprunghöhe (m)	Anfangsenergie (J/kg)	Endenergie (J/kg)	Energiebilanz (J/kg)	Energiebilanz in % der Anfangsenergie
Otto, Björn	5,90	55,95	60,39	4,44	7,9
Lobinger, Tim	5,75	55,61	57,92	2,31	4,2
Schulze, Fabian	5,75	52,65	58,2	5,55	10,5
Hütter, Julia	4,67	48,38	46,22	-2,16	-4,5

Tabelle 2 zeigt exemplarisch, dass je höher die Anfangsenergie ist desto schwieriger ist es im Sprungverlauf Energie hinzuzufügen, bzw. den Energieverlust beim Absprung gering zu halten. Diese Beobachtung deckt sich mit dem Absprungwinkel-Modell von Linthorne. Hier gibt es nach Schade (2004, 39) zwei Springertypen. Abbildung 7 zeigt die Absprungsphasen dieser beiden Springertypen, die mit der gleichen Ausgangsenergie und der gleichen Endenergie springen. Sie haben unterschiedliche Interaktionsmuster mit dem Stab, die jedoch beide zum gleichen Endresultat führen. Springer 1 biegt den Stab aktiv mit einer hohen Anlaufgeschwindigkeit, er überträgt viel Energie auf den Stab. Springer 2 überträgt die Energie auf den Stab eher passiv durch die Anlaufgeschwindigkeit, er springt höher ab und überträgt dadurch weniger Energie auf den Stab.



**Abbildung 7 Kinegramme zweier Springer mit unterschiedlichen Absprungstechniken (Schade 2004, 39).**

Es wäre interessant zu wissen, welche Absprungwinkel die beiden Springer haben und inwieweit sich diese in Linthornes Modell wieder finden lassen, denn Springer 2 müsste mit einem geringeren Absprungwinkel auch in der Lage sein mehr Energie aus dem Anlauf in den Sprung zu übertragen.

Die optimale Technik kann es aus mechanischer Sicht vielleicht geben, aber aus biomechanischer Sicht scheint es die optimale Lösung des Bewegungsproblems des

<sup>2</sup> Leider gibt Schade (2007b) in seinem Finale Report der biomechanischen Studie der IAAF Weltmeisterschaften 2005 nur graphische Ergebnisse an.

Stabhochsprungs nicht zu geben. Schade (2004, 41) beschreibt vielmehr Prinzipien der optimalen Bewegung. Er nennt dabei die Nutzung von Schwungelementen, Energiespeicherung im Körper, Kompatibilität von Absprung und Einstich und eine kontinuierliche Interaktion zwischen Stab und Athlet als maßgebliche Technikelemente. Er betont jedoch, dass die Stabhochsprungstechnik individualisiert werden sollte und nicht hundertprozentig der Stabhochsprungstechnik Sergey Bubkas entsprechen muss.

## 6 Zukunftsperspektive des Stabhochsprungs

Seit Jahren steht mit 6,14m die Bestmarke von Sergey Bubka fest. Dieses Jahr konnte erstmals Steve Hooker mit seinem Sprung über 6,06m in der Halle Bostons an dieser Marke kratzen. Er scheiterte daraufhin an 6,16m. Dies ist dieses Jahr bereits sein zweiter Versuch 6,15m zu übertreffen, die Sergey Bubka als Hallenweltrekord hinterlassen hat. Im Interview ist er der festen Überzeugung, dass er den Weltrekord brechen kann (vgl. Finkel 2009).

Auch Sergey Bubka (1999, 4726) war in einer Rede der Meinung, schon in er nächsten Saison verletzungsfrei 6,20m springen zu können. Zu dieser Zeit war dieser bereit 34 Jahre alt und fühlte sich aber in bester Verfassung.

Natürlich ist auch diese Disziplin, wie auch die ganze Leichtathletik nicht vor Dopingmissbrauch geschützt, dennoch denke ich, dass der Weltrekord noch um ein paar Zentimeter nach oben geschoben werden kann. Wenn man jedoch auf Basis der Energiegleichung nachrechnet kommt man zu folgendem Ergebnis.

Steve Hooker, 85kg, 1,88m, Anlaufgeschwindigkeit 10m/s,  $g=9.81\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$

$$E_{CM_{Athlete}} = \underbrace{85\text{kg} \cdot g \cdot 1,00\text{m}}_{E_{pot}} + \underbrace{\frac{85\text{kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}}_{E_{kin}} = 833,85\text{J} + 4250\text{J} = 5083,85\text{J}$$

Angenommen er könnte diese Energie direkt in Höhe umwandeln abzüglich einer KSP-Geschwindigkeit von 1m/s (etwas niedriger Wert vgl. Schade 2007, 25) am höchsten Punkt dann ergibt sich folgendes:

$$5083,85\text{J} = \underbrace{85\text{kg} \cdot g \cdot H_{CM}}_{E_{pot}} + \underbrace{\frac{85\text{kg} \cdot \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}}_{E_{kin}} = 833,85 \cdot H_{CM} + 42,5\text{J}$$

$$\Leftrightarrow \frac{5083,85\text{J} - 42,5\text{J}}{833,85} = H_{CM}$$

$$\Leftrightarrow \frac{5083,85J - 42,5J}{833,85} = H_{CM}$$

$$\Rightarrow 6,05m = H_{CM}$$

Diese Abschätzung zeigt, dass, wenn 100% der Anfangsenergie ohne Verlust und auch ohne zusätzliche Energiezufuhr während des Sprungs in Endenergie umgewandelt wird, eine Höhe von 6,05m möglich ist. Diese Abschätzung ist sehr nahe an den Werte, die in der Weltspitze erreicht werden, daher ist bei dieser Betrachtung davon auszugehen, dass der Stabhochsprung weitestgehend an die Grenzen des Machbaren gestoßen ist. Wenn jedoch zusätzlich betrachtet wird, dass der Athlet in seiner Flugphase weitere Energie in den Sprung investiert (positive Energiebilanz) dann ergibt sich bei einer Energiebilanz von 4J/kg bei einem Springer von 85kg weitere 340J Energie. Dies entspräche dann einer Leistung von 6,45m die möglich ist.

Wir werden gespannt sein, was die Leichtathletik Weltmeisterschaften im August in Berlin für den Stabhochsprung bringen werden, denn psychische und andere externe Faktoren lassen diese Berechnungen völlig außer Acht.

## 7 Literatur

Barber, Gary (2005). *Getting Started in Track and Field Athletics: Advice and Ideas for Children, Parents and Teachers*. Oxford: Trafford Publishing.

BLV (2003). *Tafel-Technik Unterschiede*. Zugriff am 21.05.2009 unter [http://www.blv-nachwuchs.ch/stab/stab\\_so-kro.html](http://www.blv-nachwuchs.ch/stab/stab_so-kro.html).

Bubka, Sergey (1999). *An Athlete's View Of Limits And Possibilities*. *Track Coach*, 138 (1999) zugriff am 22.05.2009 unter [http://www.trackandfieldnews.com/technique/148\\_Serbey\\_Bubka.pdf](http://www.trackandfieldnews.com/technique/148_Serbey_Bubka.pdf)

Butlin, Chris (2000). *Salters Horners - Advanced Physics*. Heinemann Educational Publishers

Casper, Peter (1996). *Sprungdisziplinen*. Zugriff am 21.05.2009 unter <http://www.sportbox.de/kompendium/ktii1184.htm>

Crego, Robert (2003). *Sports and games of the 18th and 19th centuries*. Westport: Greenwood Publishing.

Czingon, Herbert (2008). *Long Term Development in the Pole Vault* Zugriff am 24.05.2009 unter [http://www.dshs-koeln.de/polevault2008/pic/pdf/Czingon\\_From\\_Analysis\\_To\\_Training.pdf](http://www.dshs-koeln.de/polevault2008/pic/pdf/Czingon_From_Analysis_To_Training.pdf)

Deutscher Leichtathletik-Verband (Hrsg.) (1993). *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining. Sprung*. (2.Aufl.) Aachen: Meyer und Meyer.

- Finkel, Jim (2009). Hooker clears 6.06m, aims to eclipse Bubka. Zugriff am 23.05.2009 unter <http://in.reuters.com/article/worldOfSport/idINIndia-37899520090208?pageNumber=1&virtualBrandChannel=0>
- Grundlach, Heinrich (Hrsg.). (1991). *Leichtathletik-Sprung: Analysen und Empfehlungen für die Disziplinen Hochsprung, Stabhochsprung, Weitsprung und Dreisprung*. Bd. 1: Technik der Top-Athleten. Berlin: Sportverlag.
- IAAF (2009). Pole Vault Records. Zugriff am 21.05.2009 unter <http://www.iaaf.org/statistics/records/inout=o/discType=5/disc=PV/detail.html>.
- Jung, Niklas (2007). Die schottischen Highland Games- Geschichte und gelebte Tradition: Sport- Wettkampf- Mythos. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Linthorne, Nicholas P. (2000). Energy loss in the pole vault take-off and the advantage of the flexible pole. In *Sports Engineering*, 3, (2000), 205 – 218.
- Lowe, D.G.a. (1912). Athletics (Neuauf. von 2008). READ BOOKS. Zugriff am 22.05.2009 unter [http://books.google.de/books?id=TC6rnXybLqMC&pg=PP2&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=0\\_1#PPA268,M1](http://books.google.de/books?id=TC6rnXybLqMC&pg=PP2&source=gbs_selected_pages&cad=0_1#PPA268,M1)
- Petrov, Vitaly (1985). Stabhochsprungtechnik. *Leichtathletik-Magazin*, 5 (10), 85-87.
- Rosenbaum, Mike. An Illustrated History of Pole Vault. Zugriff am 21.05.2009 unter <http://trackandfield.about.com/od/polevault/ss/illuspolevault.htm>
- Schade, Falk (2007a). Entscheidend ist die positive Energiebilanz. *Leichtathletiktraining* (Jg. 18/7). S.24-25
- Schade, Falk, Isolehto, Juha, Arampatzis, Adamantios, Brüggemann, Gert-Peter, Komi, Paavo (2007b). Biomechanical analysis of the pole vault at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. In *New Studies in Athletics* (2/2007). S. 29-45.
- Schade, Falk, Arampatzis, Adamantios, Brüggemann, Gert-Peter (2004). A new way of looking at the biomechanics of the pole vault. In *New Studies in Athletics* (3/2004). S. 33-42.
- Schade, Falk (2007). Entscheidend ist die positive Energiebilanz. In *Leichtathletiktraining*, 18 (7), 24-25.
- Schmolinsky, G. (1983). *Track and Field*, Sportverlag Berlin, Chief Editor: G. Schmolinsky.
- Singler, Andreas, Treutlein, Gerhard (2003). Doping im Spitzensport: Sportwissenschaftliche Analysen zur nationalen und internationalen Leistungsentwicklung (3. Auflage). Aachen. Meyer & Meyer Verlag.

### 7.1 Links zum Thema Stabhochsprung im Physikunterricht

- [http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web\\_ph08\\_g8/musteraufgaben/01energie/stabhoch/stabhoch.htm](http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph08_g8/musteraufgaben/01energie/stabhoch/stabhoch.htm)
- [http://sinus.lernnetz.de/aufgaben1/materialien/physik/sek\\_II/wkin4.htm](http://sinus.lernnetz.de/aufgaben1/materialien/physik/sek_II/wkin4.htm)

- 
- [http://www.physik-im-unterricht.de/emg/G8\\_Physik\\_Kl\\_8/PH8-Stabhochsprung.pdf](http://www.physik-im-unterricht.de/emg/G8_Physik_Kl_8/PH8-Stabhochsprung.pdf)
  - <http://server.co101.spacenet.de/isb.co101.spacenet.de/contentserv/3.1/g8.de/index.php?StoryID=26721>