

**DR. MARTIN HILLEBRECHT**

# Biomechanik im Sporttheorieunterricht

## Das biomechanische Prinzip der Anfangskraft

### 1 EINLEITUNG

In Betrifft Sport 5/96 wurde das Thema „Kraft und Kraft-Zeitverläufe“ ausführlich behandelt. Im Rahmen eines Versuches ist dabei ein Kraft-Zeitverlauf eines Absprunges aus dem Stand von einer Waage betrachtet worden. Ausgehend von den Ergebnissen des Versuches wurde der senkrechte Strecksprung ohne und mit Ausholbewegung untersucht und zum Gegenstand der Betrachtungen gemacht. Im folgenden Beitrag soll an dieser Stelle angeknüpft werden. Die zentralen Fragestellungen, die vertieft betrachtet werden sollen, können wie folgt formuliert werden:

- Mit welcher Sprungvariante springt man höher? Mit Ausholbewegung oder ohne?
- Warum führt eine Sprungvariante zu einer höheren Sprunghöhe?

Diese Fragestellungen sollen zum einen wieder experimentell untersucht und dann mit biomechanischen Erkenntnissen verknüpft werden.

### 2 DIE SPRUNGVARIANTEN UND DIE DAZUGEHÖRIGEN KRAFT-ZEITVERLÄUFE

Ein Strecksprung aus der statischen Ruheposition ist in Abbildung 1 dargestellt.

Absprung- und Landeort sind identisch, der Sprung erfolgt demnach nur nach oben und nicht nach vorn! Die Arme sind auf dem Rücken abgelegt und werden nicht als Schwungmasse benutzt.

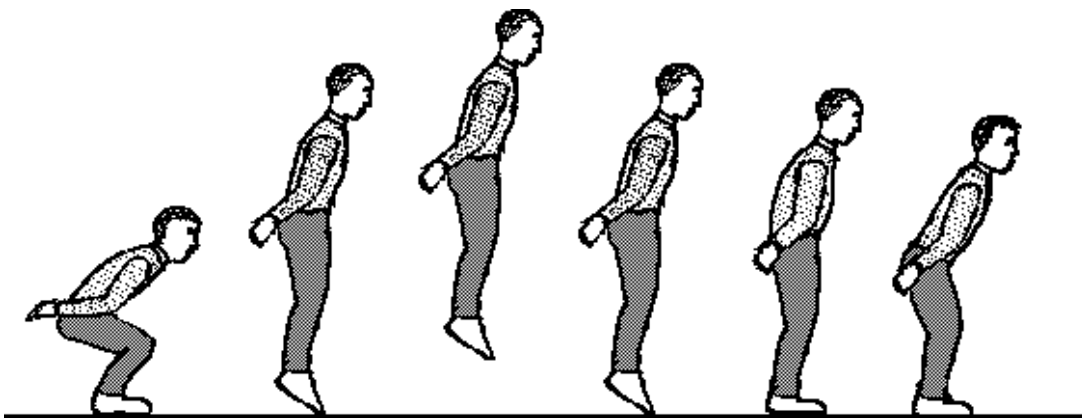


Abb. 1 Bildreihe eines Strecksprunges aus der statischen Hocke

2 Die Sprungvarianten und die zugehörigen Kraft-Zeitverläufe

Der dazugehörige Kraft-Zeitverlauf (vgl. Abbildung 2) ist durch einen Beschleunigungsstoß (Fläche unter der Kraft-Zeitkurve), der durch die Streckbewegung der Beine und des Oberkörper entsteht, eine Flugphase, in der der Kraft-Zeitverlauf die Nulllinie berührt, und die Landung mit einer relativ hohen Kraftspitze gekennzeichnet.

Der Beschleunigungsstoß kann, wie in Betrifft Sport 5/96 beschrieben, mit einer Waage und

einer Videoaufzeichnung der Waagenanzeige annähernd reproduziert werden.

Beim Strecksprung mit Ausholbewegung finden wir ein vorgeschaltetes Absenken des Körpers, bevor die Streckbewegung eingeleitet wird. Auch hier sind die Arme auf dem Rücken abgelegt. Der Übergang von der Ausholbewegung zur Streckbewegung sollte möglichst flüssig und ohne Pause erfolgen (vgl. Abbildung 3).

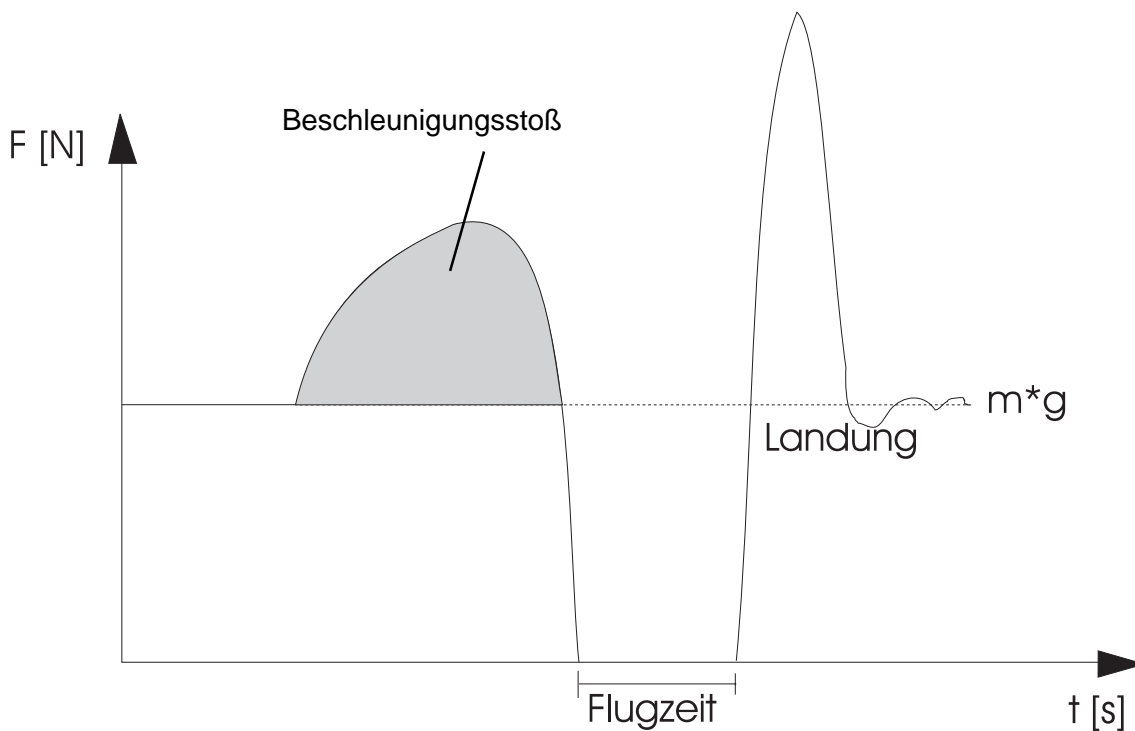
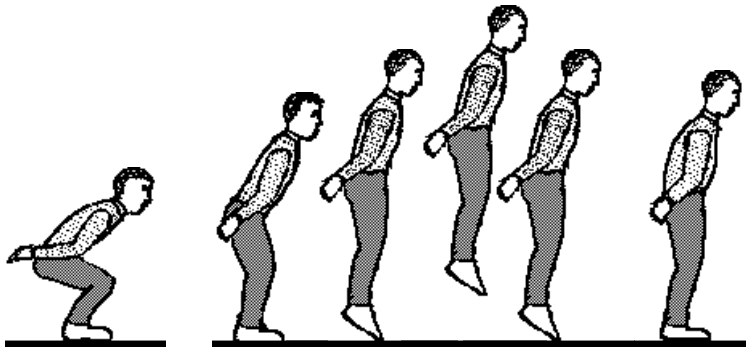


Abb. 2 Kraft-Zeitverlauf eines Strecksprunges aus der statischen Hocke mit zugeordneter Bildreihe

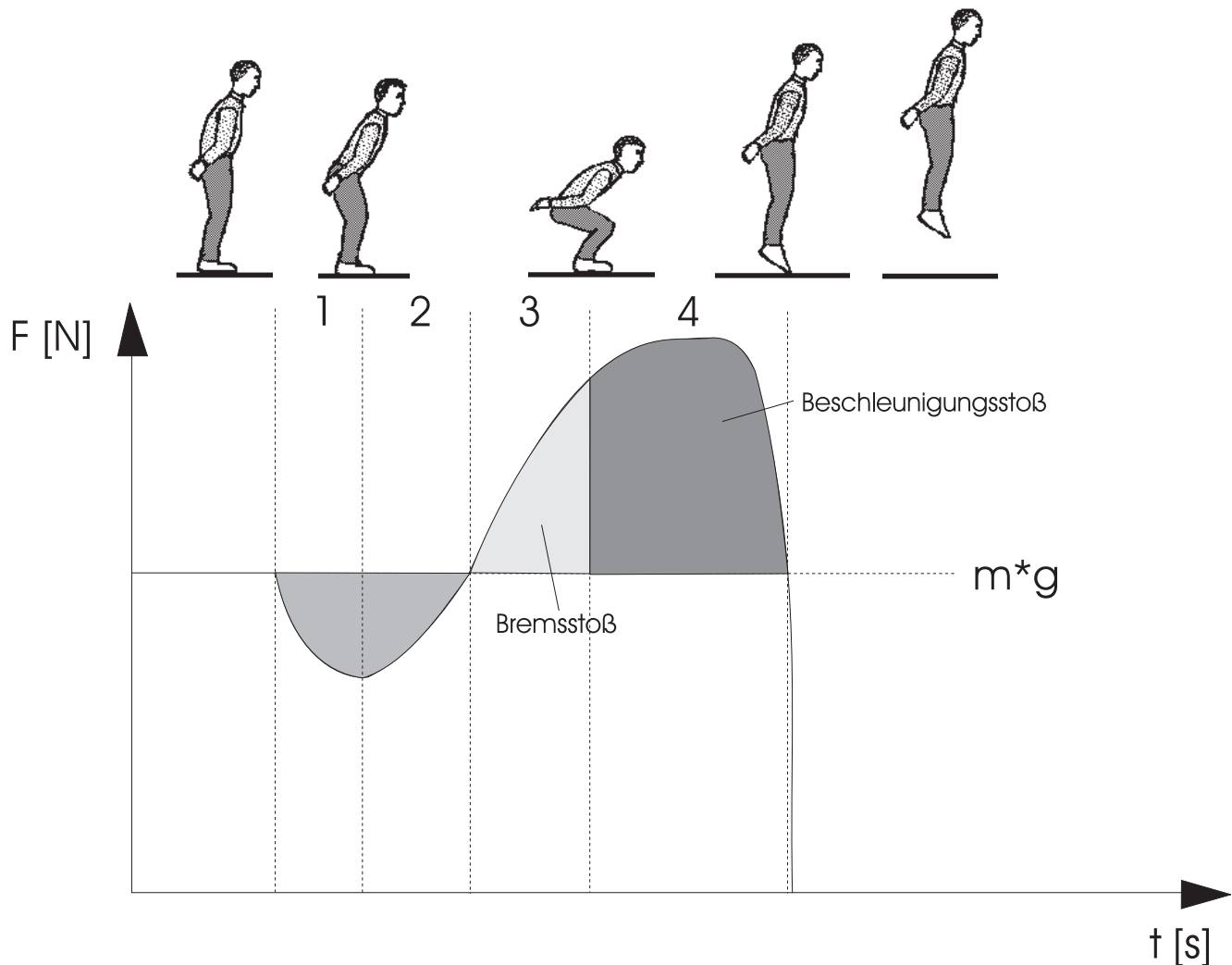


Abb. 3 Kraft-Zeitverlauf eines Streckensprunges mit Ausholbewegung und zugeordneter Bildreihe

Daraus ergibt sich im Kraft-Zeitverlauf ein Bremsstoß mit dem Überschreiten der Gewichtskraft, die Abwärtsbewegung wird verlangsamt. Ist der tiefste Punkt der Beugebewegung erreicht, beginnt der Beschleunigungsstoß, der Springer streckt seine Beine und seinen Oberkörper. Zu Beginn des Beschleunigungsstoßes ist schon eine positive Anfangskraft vorhanden, die größer ist als die Gewichtskraft des Springers. Diese positive Anfangskraft wird später als die Ursache der größeren Sprunghöhe des Sprunges mit Ausholbewegung identifiziert werden.

### 3 MESSUNG DER SPRUNGHÖHEN BEI DEN VERSCHIEDENEN SPRUNGARIANTEN

Die Messung der Sprunghöhen, die mit den verschiedenen Sprungvarianten möglich sind, kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Sie sollte in der Praxis mit den Lernenden durchgeführt werden, um konkretes Datenmaterial aus der Lerngruppe heraus zu erzeugen.

Die einfachste und schnellste Möglichkeit stellt der Jump-and-Reach-Test dar. Der Springer

3 Messung der Sprunghöhen bei den verschiedenen Sprungvarianten

steht neben einer Hallenwand und kreydet sich die Finger der wandnahen Wand mit Magnesia oder Kreide ein. Im aufrechten Stand wird nun die maximale Reichhöhe ermittelt und dort ein Kreideabdruck der Hand hinterlassen. Nach dem Absprung versucht der Springer im höchsten Punkt der Flugphase, einen Kreideabdruck an die Wand zu schlagen (vgl. Foto 1+2). Die Differenz zwischen den Abdrücken wird als Sprunghöhe ermittelt. Bei diesem Test ist nur ein Sprung mit Armeinsatz möglich, er weicht daher etwas von den oben dargestellten Bildreihen ab.

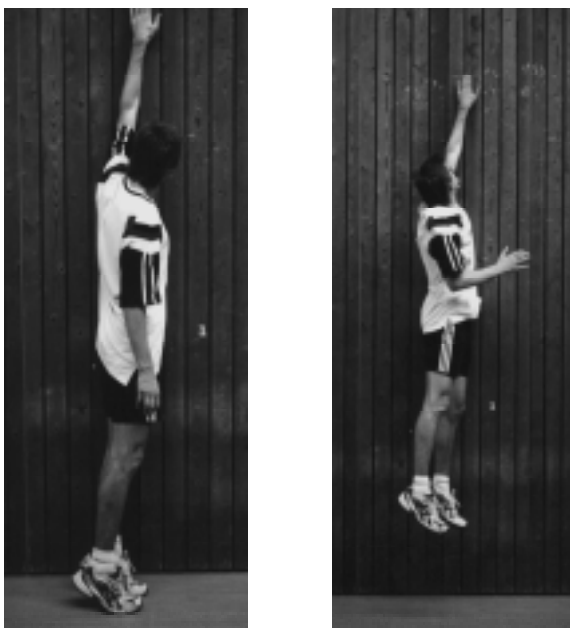


Foto 1 + 2 Jump-and-Reach-Test

*Vorteile:*

- schnell und ohne großen Aufwand durchführbar,
- nur Kreide oder Magnesia als Materialien notwendig.

*Nachteile:*

- maximale Reichhöhe vom Springer manipulierbar (Testleiter muss auf maximale Streckung des Körpers und der Arme achten!),
- trifft der Springer die Wand tatsächlich im höchsten Punkt?
- Eine große Schulterbeweglichkeit kann das Ergebnis verfälschen.

Eine weitere Alternative besteht in der Messung mit einem Sprunggürtel. Dazu wird ein Bandmaß an einem Gürtel befestigt. Das Bandmaß verläuft vom Rücken zum Boden und wird dort z.B. mit einer 1,25kg-Gewichtsscheibe fixiert. Springt der

Springer nun nach oben, zieht sich das Bandmaß durch die Gewichtsscheibe nach oben (vgl. Foto 3 - 5). Die Differenz zwischen der Ausgangshöhe vor dem Sprung und der Höhe nach dem Sprung stellt die Sprunghöhe dar.



Foto 3 - 5 Sprunggürtel-Test

*Vorteile:*

- schnell und ohne großen Aufwand durchführbar,
- nur ein Gürtel, ein Bandmaß und eine Gewichtsscheibe als Materialien notwendig,
- genauer als Jump-and-Reach.

*Nachteile:*

- eine Veränderung der Körperposition im Flug kann das Messergebnis verfälschen (herausstrecken des Gesäßes nach hinten),
- ein Springen nach vorn oder hinten verfälscht das Messergebnis.

Die genaueste Messung kann mit sogenannten Kontaktmattensystemen erfolgen. Diese sind z.B. in Sportinstituten der Universitäten meistens vorhanden und könnten dort ausgeliehen werden.

Der Springer steht hierbei auf eine Kontaktmatte, die einem elektrischen Schalter gleicht. Steht der Springer auf der Matte, ist der Stromkreis geschlossen, verlässt er die Matte, ist der Stromkreis unterbrochen, bei der Landung auf der Matte schließt er sich wieder (vgl. Foto 6). Mittels einer elektronischen Stoppuhr, die mit der Matte

verbunden wird, kann man dann die Flugzeit des Springers ermitteln und über die Formel des freien Falls die Sprunghöhe ermitteln. Da die aufsteigende Phase die gleiche Zeitdauer beansprucht, wie der Fall nach unten, muss die gemessene Zeit noch durch 2 geteilt werden.



Foto 6 Kontaktmattenmessanlage

*Beispiel:*  
Der Springer erreichte eine Flugzeit von 0,5 Sekunden.

$$H = \frac{1}{2} g \cdot (t/2)^2$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ (Erdbeschleunigung)}$$

$$H = 4,905 \cdot (0,25 \cdot 0,25) = 0,306 \text{ m} \Rightarrow 30,6 \text{ cm}$$

Ein Kontaktmattensystem kann mit ein wenig elektronischen Kenntnissen selbst gebaut werden, vielleicht kann hier eine Kooperation mit einem Physiklehrer eine kostengünstige Lösung erbringen. Die Matten sind für ca. 50,- DM käuflich erhältlich, ihr Haupteinsatzgebiet liegt übrigens in der Einbruchssicherung von Gebäuden, wo sie mit Alarmanlagen verbunden werden und z.B. unter Teppichen verlegt werden.

*Vorteile:*

- sehr genaue Messung der Flugzeiten und -höhen möglich.

*Nachteile:*

- relativ teures System,

- ein Anziehen der Beine in der Luft verlängert die Flugzeit und verfälscht das Messergebnis (Testleiter muss darauf achten!),
- größerer Aufwand als die anderen Messverfahren.

Die Messungen mit einem Kontaktmattensystem führen meist zu niedrigeren Sprungwerten als die Messungen mit dem Jump-and-Reach- oder beim Maßbandgürtel-Test. Die Verfälschungsmöglichkeiten sind hier sehr gering.

Um eine gesicherte Datenbasis zu erhalten, sollten 10 Personen jeweils 3 Sprünge aus der statischen Hockposition und 3 Sprünge mit Ausholbewegung aus dem aufrechten Stand durchführen. Die jeweiligen Messergebnisse werden in einer Tabelle dokumentiert:

Proband	Sprung aus Hocke Sprunghöhe in cm			Sprung mit Ausholen		
	1	2	3	1	2	3
1	30	31	31	34	34	35
2	25	23	24	25	27	26
3	35	35	36	40	41	41
4	21	23	20	25	24	25
5	22	21	23	23	24	22
6	34	33	35	32	33	34
7	22	22	23	27	28	26
8	29	30	29	32	34	33
9	28	29	28	33	34	31
10	41	40	40	45	44	46

Diese exemplarische Tabelle zeigt ein erstes Ergebnis, das sich so in den meisten Fällen finden lassen wird. Die Sprünge mit Ausholbewegung führen in aller Regel zu höheren Sprunghöhen als die Sprünge aus der statischen Hockposition. Damit wäre Fragestellung a) beantwortet. Es stellt sich nun die Frage nach der Ursache. Dazu ist eine nähere Betrachtung der zugehörigen Kraft-Zeitverläufe notwendig.

**4 VERGLEICH DER KRAFT-ZEITVERLÄUFE**

Legt man die Kraft-Zeitverläufe der beiden Sprungbewegungen so übereinander, dass der Beginn der Streckbewegung als Startpunkt gewählt wird, erhält man das in Abbildung 4 dargestellte Ergebnis.

5 Biomechanische Prinzipien

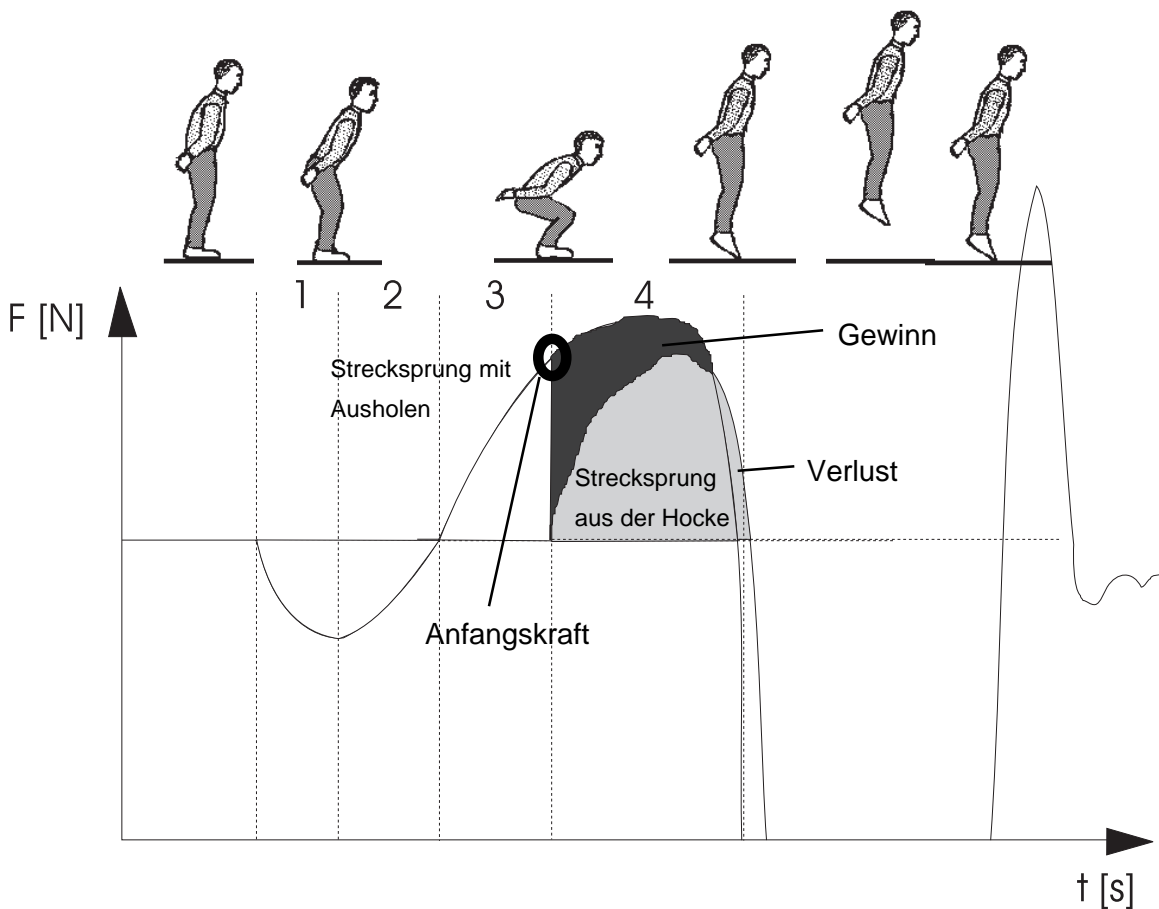


Abb. 4 Kraft-Zeitverläufe der Sprünge mit und ohne Ausholbewegung

Während beim Sprung aus der statischen Hockposition der Kraft-Zeitverlauf auf der Höhe der Gewichtskraft startet, ist beim Sprung mit Ausholbewegung schon zu Beginn der Streckbewegung eine Kraft messbar, die deutlich über der Gewichtskraft liegt. Diese Kraft wird als Anfangskraft bezeichnet und führt zu einem vergrößerten Beschleunigungsstoß gegenüber dem Sprung aus der statischen Hockposition. Da die Größe des Beschleunigungsstoßes für die Flughöhe verantwortlich ist, muss dieser Gewinn an Beschleunigungsstoß auch zu einem Gewinn an Flughöhe führen.

Durch die etwas schnellere Bewegungsausführung des Sprunges mit Ausholbewegung springt der Springer etwas früher ab als der Springer ohne Ausholbewegung. Hier entsteht damit ein Verlust an Beschleunigungsstoß gegenüber dem Sprung aus der statischen Hockposition. Dieser fällt aber eher gering aus, so

dass dieser den zu Beginn erreichten Gewinn nicht aufhebt.

Aus dieser Erkenntnis, dass eine Ausholbewegung zu einem höheren Beschleunigungsstoß und damit zu einer besseren Leistung führt, lässt sich das verallgemeinerte biomechanische „Prinzip der Anfangskraft“ formulieren.

5 BIOMECHANISCHE PRINZIPIEN

HOCHMUTH nennt bei der Aufzählung der Aufgaben der Biomechanik auch die „Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse über die zweckmäßigste Technik der einzelnen sportlichen Disziplinen zu allgemeinen biomechanischen Prinzipien der zweckmäßigsten sportlichen Technik“ (1982, 13). Er meint damit, dass die gesetzmäßigen Zusammenhänge

zwischen der sportlichen Technik und den biomechanischen Kennlinien erkannt werden müssen und in allgemein gültige Prinzipien umgewandelt werden müssen. Das Wissen um diese Prinzipien ist eine wichtige Vorbedingung für die Analyse von Bewegungen.

**Prinzip der Anfangskraft**

Ein Interesse der Biomechanik liegt darin, die Gesetzmäßigkeiten, die hinter dem Zustandekommen der Kraft-Zeitverläufe stecken, aufzuklären und Handlungsanleitungen geben zu können, um so einen möglichst maximalen Kraftstoß entwickeln zu können. Diesen kann man erreichen, wenn man über den Zeitraum der Krafterwirkung maximale Kräfte aufbringt. Wir konnten am Beispiel der Strecksprünge sehen, dass eine einleitende Ausholbewegung zu einer Vergrößerung des Kraftstoßes führen kann und damit eine einleitende Ausholbewegung sehr sinnvoll erscheint. Verallgemeinert

könnte man mit HOCHMUTH (1967,192) formulieren:

„Eine Körperbewegung, mit der eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll (z.B. Sprung, Wurf, Stoß), ist durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung einzuleiten. Durch das Abbremsen der Gegenbewegung ist zu Beginn der eigentlichen Bewegung bereits eine positive Kraft für die Beschleunigung vorhanden, wenn sich der Übergang flüssig vollzieht. Damit wird der Beschleunigungsstoß insgesamt größer.“

Im Anschluss an diese allgemeine Formulierung stellt sich die Frage, ob eine maximale Ausholbewegung nicht zu den besten Ergebnissen führen würde. Nimmt man hier wieder den Strecksprung als Modell, so ist fraglich, ob eine Ausholbewegung bis in die tiefe Hocke nicht zu den höchsten Sprüngen führen könnte. Auch dies kann man experimentell überprüfen. Das Ergebnis wird eine eher geringere Sprunghöhe sein. Die Ursachen lassen sich wieder im Kraft-Zeitverlauf finden:

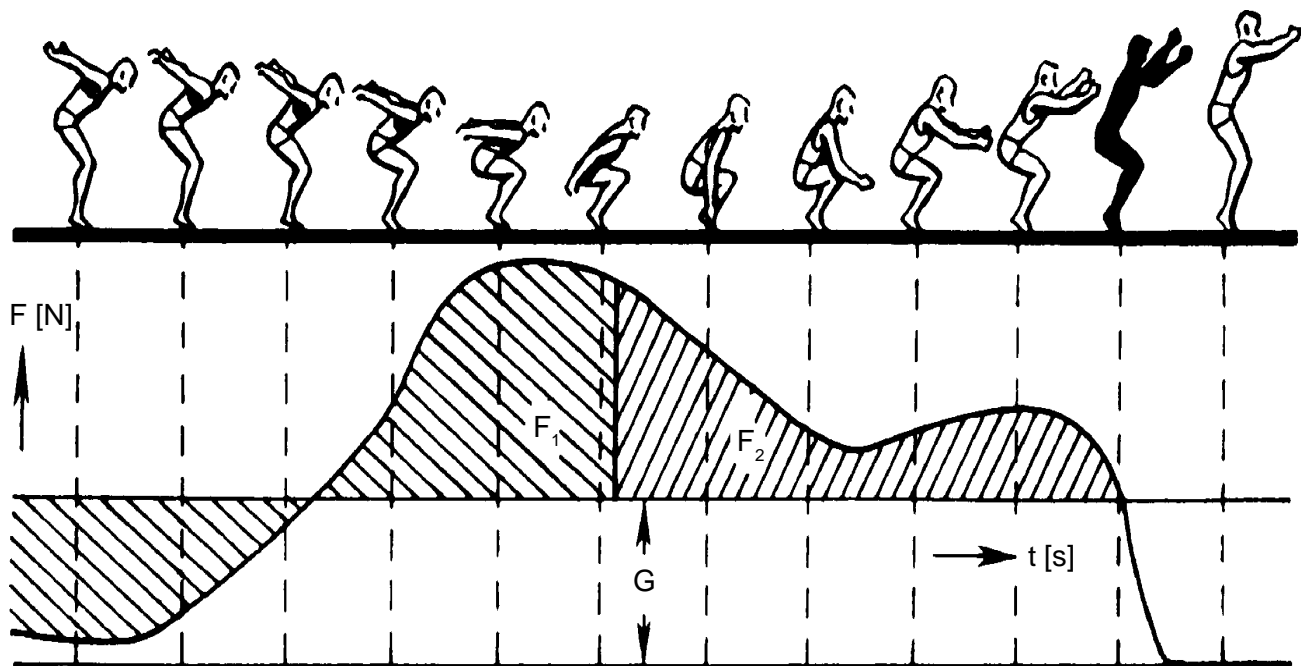


Abb. 5 Kraft-Zeitverlauf eines Sprunges mit tiefer Ausholbewegung (modifiziert nach HOCHMUTH 1967, 189)

Hier findet man schon während des Bremsstoßes ( $F_1$ ) die höchsten Kräfte, was zwar zu Beginn der Streckbewegung eine sehr hohe Anfangskraft bewirkt, aber auch einen sehr niedrigen Kraftverlauf in der folgenden Streckbewegung verursacht. Dies führt zu einem niedrigen Beschleunigungsstoß ( $F_2$ ) und damit zu einer niedrigeren Höhe. Die höchsten Kraftwerte sollten aber im Beschleunigungsstoß erreicht werden. Eine sehr tiefe Ausholbewegung ist deshalb biomechanisch nicht sinnvoll!

Die Ursachen liegen hier auch in den ungünstigen Hebelverhältnissen, die sich durch den sehr spitzen Knie- und Hüftwinkel für die Streckmuskulatur ergeben.

Einen anderen limitierenden Aspekt haben wir in diesem Zusammenhang noch nicht erwähnt. Bei vielen Sportarten, die Beschleunigungswege beinhalten, bestehen Vorgaben bezüglich der zeitlichen Gestaltung der Beschleunigung. Denken wir hier nur an den Boxer, der einen kurz angesetzten Schlag anbringen will. Aus Beschleunigungsgründen wäre eine Ausholbewegung sinnvoll, um so eine hohe Endgeschwindigkeit mit der Faust zu erreichen. Der Gegner könnte dann allerdings sehr gut ausweichen. Der Boxer muss also aus zeitlichen Gründen auf eine Ausholbewegung verzichten. Neben dem hier vorgestellten biomechanischen Prinzip der Anfangskraft sind noch weitere Prinzipien formuliert worden. Sie werden Gegenstand eines folgenden Artikels sein.

## 6 ANWENDUNGSHINWEISE FÜR DEN UNTERRICHT

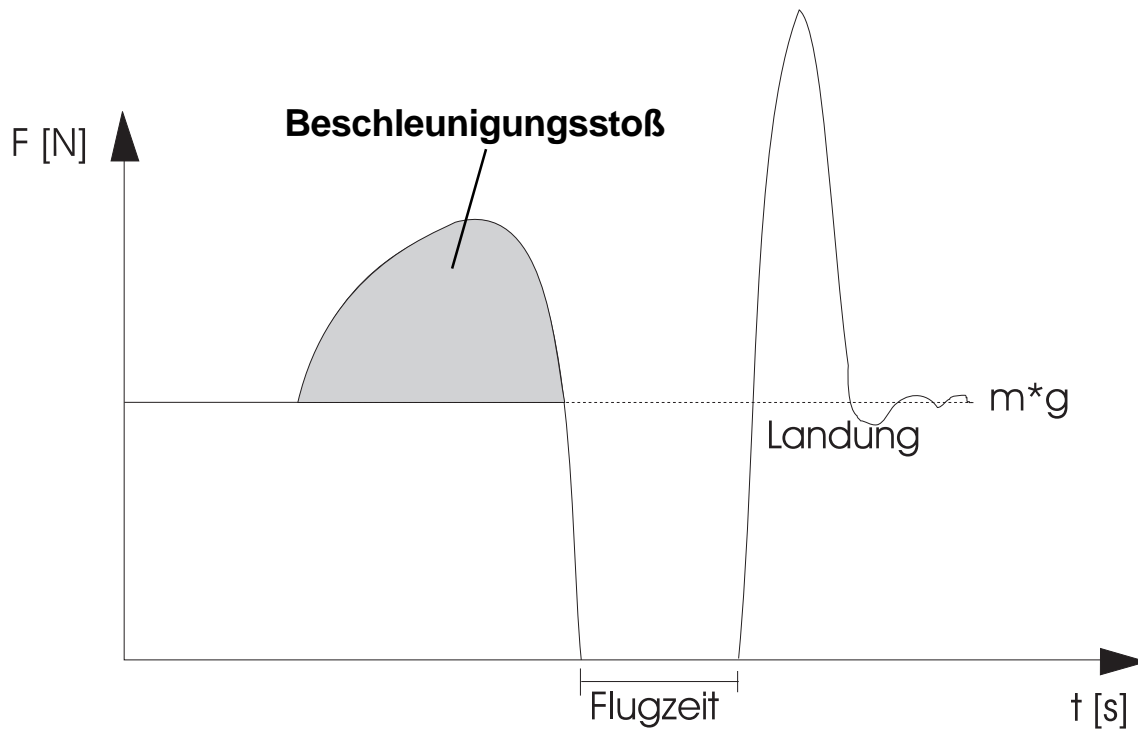
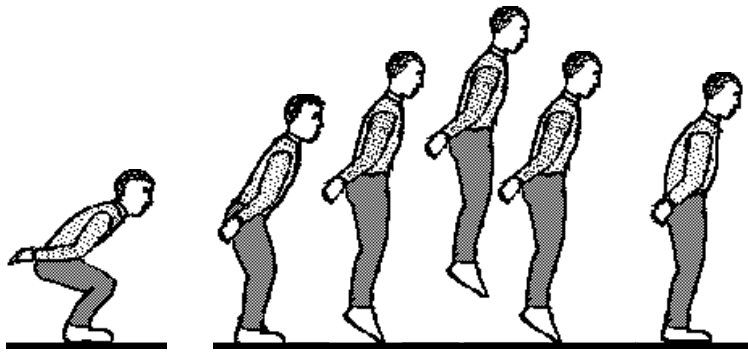
Die skizzierten Messverfahren (Jump-and-Reach, Sprunggürtel, Kontaktmatte) können in einer Praxisstunde als Schülerversuche eingesetzt werden. Unter dem Motto "Wir messen heute eure Sprungfähigkeiten" erfolgen die Sprünge ohne und mit Ausholbewegung. Die sich auftuenden Differenzen in den Sprunghöhen sollten problematisiert werden. Als Hausaufgabe oder Unterrichtsmaterialien für die folgende Stunde dienen die folgenden Kopiervorlagen, anhand derer man theoretisch die biomechanischen Ursachen und das Prinzip der Anfangskraft erläutern kann.

## LITERATUR

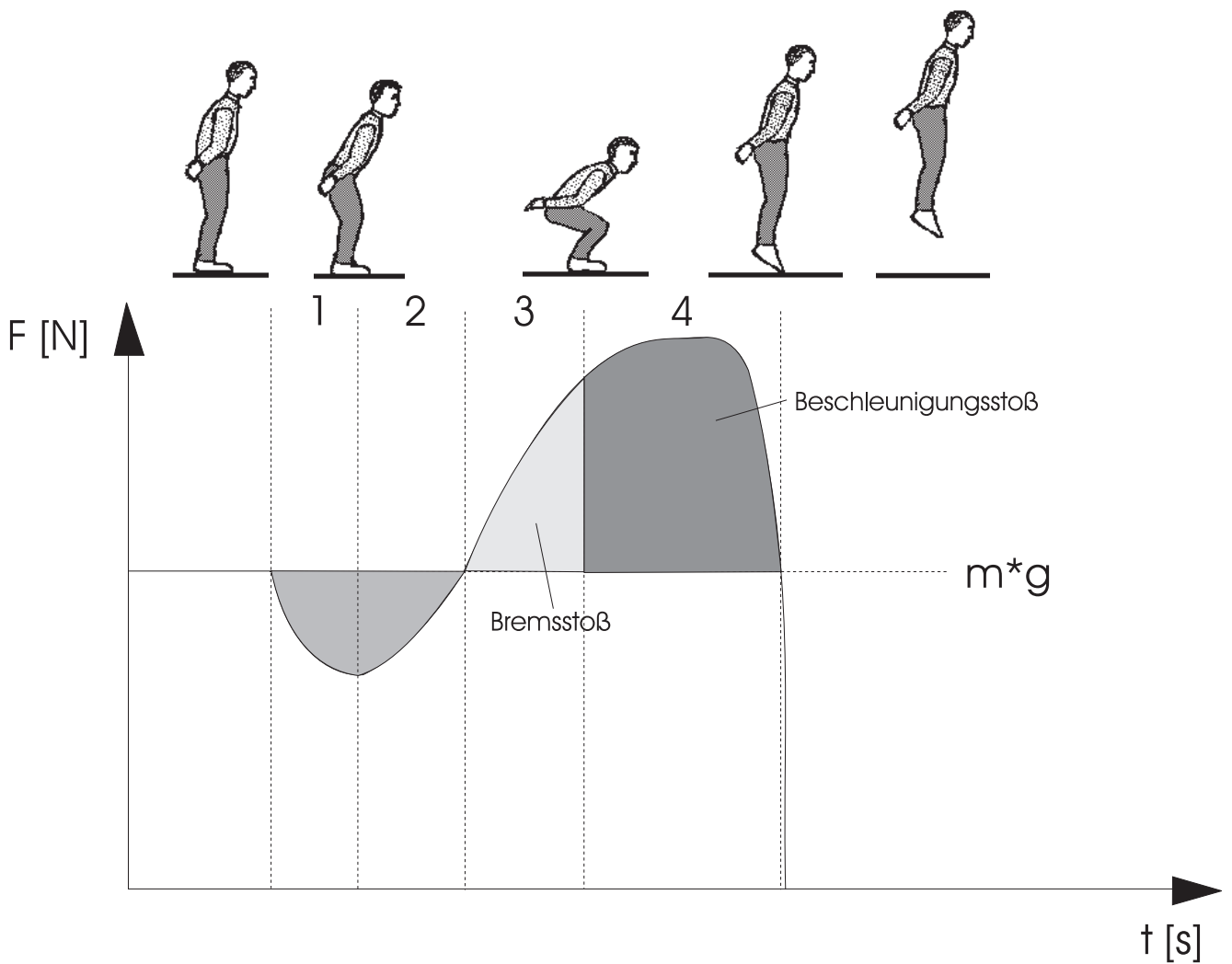
- HOCHMUTH, G.: Biomechanik sportlicher Bewegungen. Frankfurt a. M. 1967 und Berlin 1982.
- HILLEBRECHT, M.: Biomechanik im Sporttheorieunterricht. Kraft und Kraft-Zeitverläufe. In: Betrifft Sport 5/96, 20-34



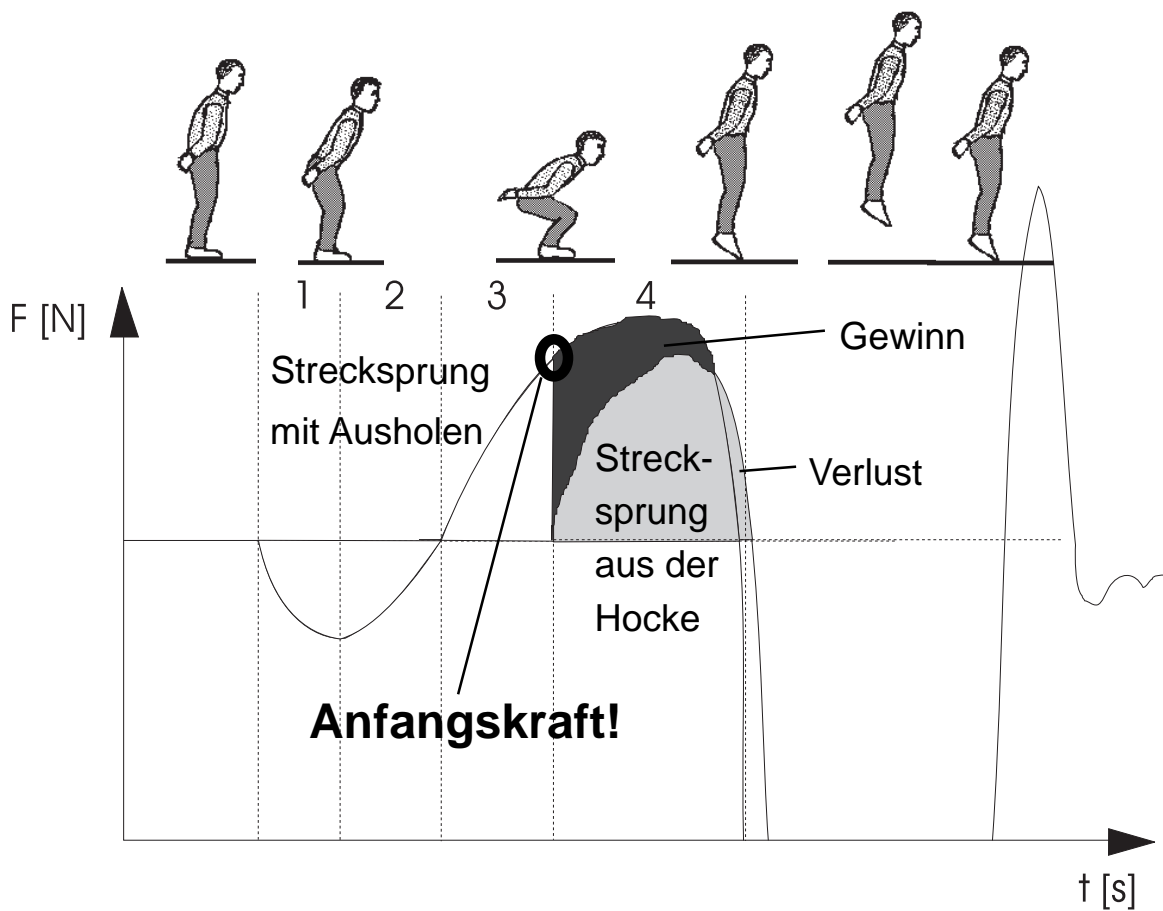
## Kraft-Zeitverlauf eines Streckgesprunges aus der statischen Hocke



# Kraft-Zeitverlauf eines Streck- sprunges mit Ausholbewegung



# Kraft-Zeitverläufe der Sprünge mit und ohne Ausholbewegung



# Kraft-Zeitverlauf eines Sprunges mit tiefer Ausholbewegung

(modifiziert nach HOCHMUTH 1967, 189)

