

DR. MARTIN HILLEBRECHT

## Biomechanik im Sporttheorieunterricht - Kraft und Kraft-Zeitverläufe -

### 1 EINLEITUNG

Biomechanische Messungen ermöglichen die quantitative Erfassung von Bewegungsabläufen. Die Bewegung wird über die Messung operationalisiert und ist damit genauer zu analysieren. Subjektive Bewegungsbeobachtungen können überprüft und mit den biomechanischen Meßgrößen kombiniert werden.

Gerade im heutigen Spitzensport spielen biomechanische Untersuchungen eine wichtige Rolle, wenn es um die Optimierung von Bewegungstechniken geht. Mit Hilfe der quantitativen Meßdaten kann die Bewegung objektiv eingeschätzt und beurteilt werden. Notwendige Korrekturmaßnahmen sind auf der Grundlage von biomechanischen Messungen erheblich besser zu kontrollieren.

In der Schule kann das Thema Biomechanik im Sporttheorieunterricht zum Gegenstand der Betrachtungen gemacht werden. Leider ist meist eine praktische Umsetzung des vermittelten Stoff nur schwer möglich, biomechanische Gerätschaften fehlen, physikalische Vorkenntnisse sind nicht vorhanden oder biomechanische Themen erscheinen als zu schwer. Viele Lehrer schrecken deshalb vor der Behandlung von biomechanischen Themen zurück und wählen trainingswissenschaftliche oder andere bewegungswissenschaftliche Themen aus. Der folgende Artikel versucht, einen Themenbereich der Biomechanik, nämlich die Messung von Kraft, anschaulich und praxisgerecht für die Anwendung im Sporttheorieunterricht aufzubereiten. Dabei wird z.T. sogar ein experimentelles Vorgehen gewählt, um eine praktische Beschäftigung mit dem Stoff zu erreichen. Die notwendigen Gerätschaften sind in den meisten Schulen vorhanden bzw. können von Schülern oder Lehrern relativ leicht beschafft werden. Physikalische Vorkenntnisse sind nur in geringem Maße erforderlich.

### 2 MESSUNG VON KRAFT UND IHRE INTERPRETATION

Kräfte können zwei verschiedene Wirkungen haben. Beobachten wir nur eine verformende Wirkung, ohne daß der Gegenstand, auf den die Kraft wirkt, sich bewegt, sprechen wir von einer statischen Kraft. Bewegt sich der Körper, spricht man von einer dynamischen Kraftwirkung. Beide Kraftwirkungen können wir mit biomechanischen Meßinstrumenten erfassen und interpretierbar machen. Im folgenden soll anhand einiger ganz einfacher Beispiele klar gemacht werden, wie man im Unterricht Kraft messen, sie in einem Kraft-Zeitverlauf darstellen und diesen dann auch interpretieren kann.

#### 2.1 EINE GEWÖHNLICHE WAAGE ALS KRAFTMESSGERÄT

Gewöhnlich werden zur biomechanischen Messung von Kraft spezielle Kraftmeßplattformen (z.B. Kistler-Meßdruckplatten) verwendet. Sie ermöglichen eine Aufzeichnung von Kraft-Zeitverläufen mit hoher Genauigkeit und einer hohen zeitlichen Auflösung. So können mehrere tausend Messungen pro Sekunde gemacht und Kräfte von wenigen Newton bis zu mehreren Kilonewton erfaßt werden. Leider sind derartige Kraftmeßplatten aber so teuer, daß sie meist nur in Universitäten vorzufinden sind. Um trotzdem die Funktion und die Arbeitsweise einer Kraftmeßplattform verstehen zu können, muß man zu anderen Meßinstrumenten greifen. Eine handelsübliche Waage kann dabei wertvolle Dienste leisten. Geeignet sind insbesondere Waagen mit analoger Anzeige, da Digitalwaagen häufig nicht die Verfolgung der Anzeige bei etwas schnelleren Bewegungen ermöglichen. Andererseits zeigen die Digitalwaagen nicht die

## 2 Messung von Kraft und ihre Interpretation

21

Nachschwingungen bei Bewegungen auf der Waage wie Analogwaagen. Zur Auswahl einer entsprechenden Waage sollte man daher einige Vorexperimente anstellen und sich dann ein geeignetes Modell auswählen.

Im Unterricht kann die Waage als Kraftmeßplattformersatz eingesetzt werden. Bei den im folgenden geschilderten Aufgaben ist die optische Beobachtung der Waageanzeige bzw. die Aufnahme mit einer Videokamera möglich. Soll eine Videokamera zum Einsatz kommen, muß diese über eine Shuttereinrichtung verfügen, da sonst die Waageanzeige nicht scharf erkannt werden kann. Mit der Videokamera kann dann sogar eine zeitliche Zuordnung einzelner Werte erfolgen, da bei einer Einzelbildschaltung bei Kameras von Bild zu Bild 4/100 Sekunden vergehen. Bei Recordern mit einem Jogshuttle kann diese Zeitspanne sogar auf 2/100 verringert werden. Natürlich sind derartige Kraftmessungen nicht mit den Ergebnissen von biomechanischen Kraftmeßplatten vergleichbar. Quantitative Ergebnisse kann man nicht ermitteln, da z.B. Nachschwingungen der Waage eine Auswertung erschweren. Zu beachten ist, daß Nachschwingungen, die nach Bewegungsende erfolgen nicht durch aufgebrauchte Kräfte entstehen, sondern durch die Trägheit der Anzeigeelemente. Sie müssen daher unberücksichtigt bleiben und die Schüler sollten auch auf dieses Problem hingewiesen werden. Bei einigen Waagen kann man durch einen nachträglich eingebauten kleinen Abbremsmechanismus das Nachschwingen eliminieren. Je nach handwerklichem Talent kann hier eine Waage entsprechend baulich verändert werden. Trotz all dieser Bedenken ermöglichen Waagen die anschauliche Darstellung, wie Kraft-Zeitverläufe ermittelt werden können. Darüber hinaus ergibt sich durch das experimentelle Vorgehen eine größere Motivation der Schüler als bei einer rein theoretischen Behandlung des Themas. Sollte man das Glück haben, daß man auf eine Kraftmeßplattform einer Universität zurückgreifen kann, sind natürlich qualitativ erheblich bessere Messungen möglich.

### 2.2 WAS IST KRAFT? WAS MISST DIE WAAGE?

Die Kapitelüberschrift gibt den inhaltlichen Rahmen der beiden ersten Fragestellungen schon vor. Zunächst muß geklärt werden, was Kraft überhaupt ist und was eine Waage bzw. eine

Kraftmeßplattform überhaupt mißt.

Zur Klärung der Frage, was Kraft ist, muß man auf die Physikkenntnisse der Schüler zurückgreifen. Kraft ist wie folgt definiert:

$$F = m \cdot a \text{ [N]}$$

Kraft ist demnach als das Produkt von Masse und der durch die Kraft erzeugten Beschleunigung definiert. Die Einheit der Masse ist dabei das Kilogramm, die der Beschleunigung Meter/Sekunden<sup>2</sup>. Newton sind demnach durch die SI-Einheiten kg\*m/s<sup>2</sup> definiert.

Die Anzeige der Waage zeigt aber nur die Masse in Kilogramm an. Physikalisch ist dies nicht korrekt, denn letztlich messen wir auch mit der Waage eine Kraft, nämlich die Gewichtskraft, mit der die Masse des Körpers durch die Erdbeschleunigung in Richtung Mittelpunkt der Erde beschleunigt wird. Die Massenanzeige der Waage muß deshalb noch mit der Größe der Erdbeschleunigung multipliziert werden, um auf die einwirkende Kraft zu kommen. Aus der Richtung der Erdbeschleunigung ergibt sich hier auch, daß eine Kraft immer eine gerichtete Größe ist. Sie zeigt in eine Richtung und erzeugt dadurch auch eine Beschleunigung in die entsprechende Richtung.

*Experiment 1:* Unser erstes Experiment sollte in der Ermittlung der Massen aller Schüler bestehen und die zugehörige Gewichtskraft sollte berechnet werden:

Beispiel:

Masse: 70 kg

Erdbeschleunigung: 9,81 m/s<sup>2</sup>

=> Kraft: 70 \* 9,81 [N] = 686,7 N

Stehen wir auf der Waage erzeugt ein 70 kg schwerer Schüler durch den Einsatz seiner Muskulatur eine Gegenkraft von ca. 700 N. Diese Gegenkraft (Stützkraft) ist genau entgegengesetzt zur Gewichtskraft gerichtet. Würde die Gegenkraft geringer als 700 N sein, würde der Körper zum Erdboden sinken, wäre sie größer, würde der Körper vom Boden abheben. Wir messen demnach auf der Waage genau diese Gegenkraft, die den Körper im aufrechten Stand halten kann.

Wenn wir die mit der Waage gemessene Kraft in ein Kraft-Zeitdiagramm eintragen wollen, müssen wir die Kraft z.B. innerhalb von mehreren Sekunden mehrmals ablesen und dann in ein Diagramm eintragen. Für den obigen Fall des ruhi-

gen Stehens auf einer Waage ergibt sich die folgende Kurve:

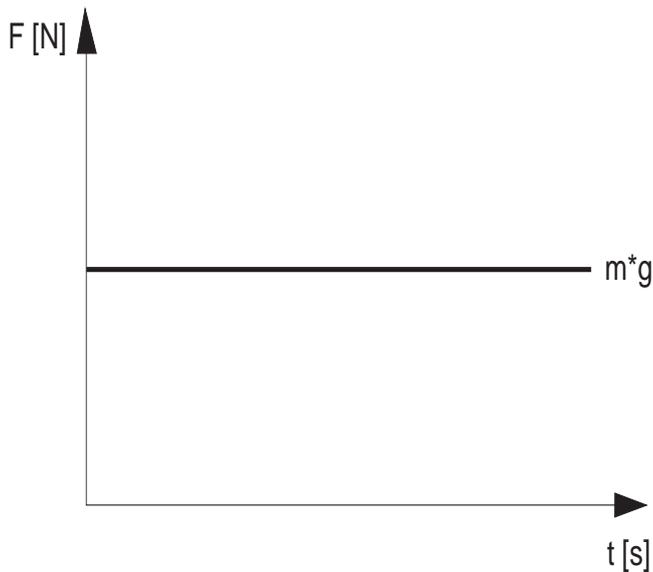


Abb. 1 Kraft-Zeitverlauf beim Stehen auf einer Waage

Vorausgesetzt die auf der Waage stehende Person bewegt sich nicht, zeigt der Kraft-Zeitverlauf einen parallelen Verlauf zur Zeitachse. Durch vertikale Bewegungen auf der Waage verändert sich die Anzeige und damit auch die wirkende Kraft.

**2.3 WIE SEHEN KRAFT-ZEITVERLÄUFE BEI BEWEGUNGEN AUS?**

Führt der auf der Waage stehende Schüler eine vertikale Bewegung aus, können wir Veränderungen der Stützkraft beobachten. Bevor wir dieses Experiment jedoch durchführen, sollten wir die Schüler auffordern, für einen relativ einfachen Fall einen Kraft-Zeitverlauf zu zeichnen. Wir wählen für diese Aufgabe eine einfache Beugebewegung der Beine, so daß die stehende Person in die Knie geht und in einer Hocke stehen bleibt. Die folgende Strichzeichnung stellt die Bewegung noch einmal dar und kann später zur Zuordnung zum Kraft-Zeitverlauf benutzt werden.

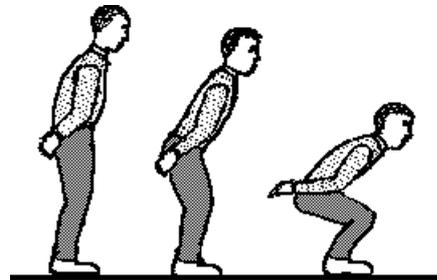


Abb. 2 Strichzeichnung der Beugebewegung  
Die Kraft-Zeitverlauf-Zeichnungen der Schüler

sollten dann in Kategorien eingeteilt und den Schülern zur Besprechung vorgelegt werden. Dabei kann man z.B. Argumente für und wider bestimmte Verläufe sammeln und einzelne Phaseneinteilungen diskutieren. Typische Verläufe, die in solchen Fällen von Schülern gezeichnet werden, sehen wie folgt aus:

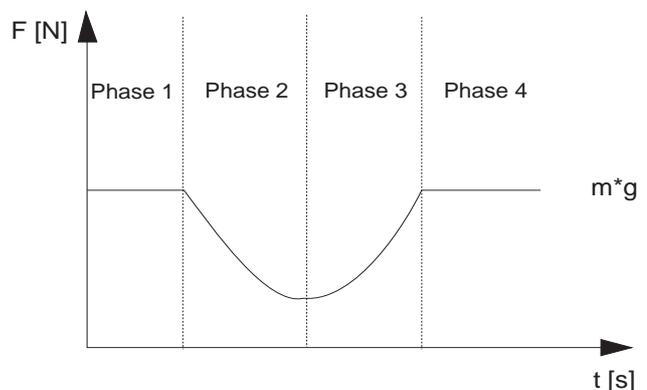


Abb. 3 Kraft-Zeitverlauf von Schüler A

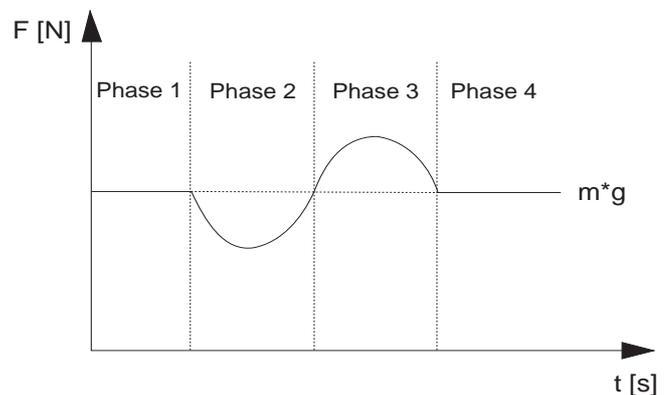


Abb. 4 Kraft-Zeitverlauf von Schüler B

2 Messung von Kraft und ihre Interpretation

Verlauf A kann als vierphasig bezeichnet werden. Die Vertreter dieser Verläufe werden folgende Argumente für ihren Verlauf vorbringen:

1. Der Verlauf muß auf dem Niveau der Gewichtskraft beginnen (Phase 1) und nach der Bewegung im Hockstand wieder auf diesem Niveau enden (Phase 4).
2. Durch die Absenkung des Körpers erfolgt eine Reduzierung der Kraft (Phase 2).
3. Danach steigt die Kraft durch das Abbremsen wieder auf das Ausgangsniveau an (Phase 3).

Die Vertreter der zweiten Kurve werden bezüglich der Abbremsbewegung im dritten Punkt anders argumentieren. Sie werden darauf hinweisen, daß eine Abbremsbewegung über das ursprüngliche Gewichtskraftniveau hinaus ansteigen muß, um eine Abbremsung der Bewegung zu erreichen. Daher ist dieser Verlauf in Phase 3 über das Gewichtskraftniveau hinausgegangen. Im Anschluß an die Diskussion der Kraft-Zeitverläufe kann nun die Überprüfung der obigen Aussagendifferenzen erfolgen. Das Experiment dient dazu, zu überprüfen, ob in der Abbremsbewegung die Kraft über das Gewichtskraftniveau ansteigt oder unterhalb bleibt.

*Experiment 2:* Wir stellen einen Schüler auf die Waage und lassen ihn eine Beugebewegung in den Knien durchführen. Er soll also aus dem aufrechten Stand in eine Hockposition gehen. Aus der Beobachtung der Waage ergibt sich der folgende Kraft-Zeitverlauf, der mit einer Videokamera aufgezeichnet wurde.

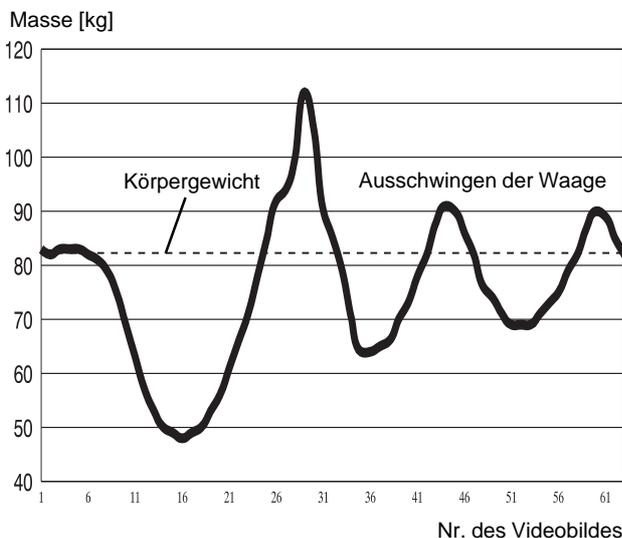


Abb. 5 Beispiel eines mit einer Videokamera aufgenommenen Kraft-Zeitverlaufs

Zu beachten sind die schon eliminierten Nachschwingungen der Waage. Es zeigt sich, daß der Verlauf B offensichtlich der richtige ist. Das Argument, daß zum Abbremsen der Abwärtsbewegung höhere Kräfte notwendig sind als die Gewichtskraft, erweist sich als richtig. Die größte Abwärtsgeschwindigkeit zeigt der Körper im Moment, wo die Kraft-Zeitkurve wieder die Gewichtskraft erreicht. Um diese Geschwindigkeit abzubremsen sind entsprechend hohe Kräfte über der Gewichtskraft notwendig.

In Analogie zur obigen Bewegung wollen wir im Anschluß eine Aufstehbewegung aus der Hockposition betrachten.

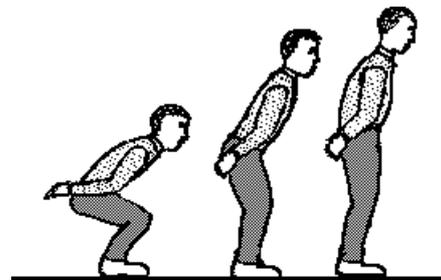


Abb. 6 Aufstehen aus der Hockposition

Auch hier können zunächst die Vermutungen zum Kraft-Zeitverlauf gesammelt werden. Vermutlich ergibt sich aus den Erfahrungen des vorigen Beispiels der folgende Verlauf:

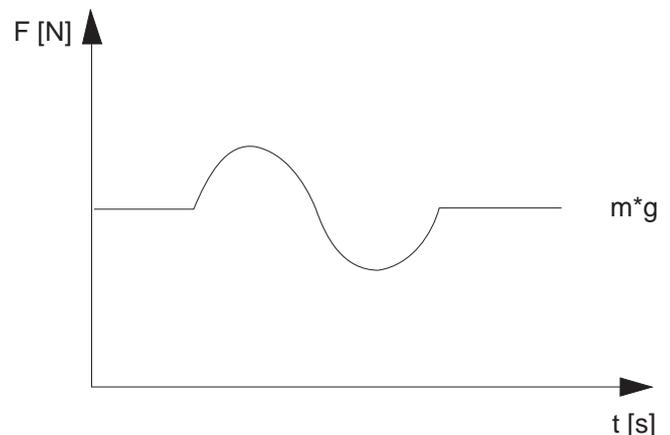


Abb. 7 Kraft-Zeitverlauf zum Aufstehen aus der Hockposition

Auch hier findet sich ein vierphasiger Verlauf, der zunächst auf Gewichtskraftniveau beginnt, dann darüber ansteigt, ehe er unter das Gewichtskraftniveau abfällt und dann wieder auf der Gewichtskraft endet. In der zweiten Phase steigt die Geschwindigkeit des Körpers, in der dritten wird sie wieder reduziert und auf null abgesenkt (Phase 4). Wir finden also in Analogie zur Abwärtsbewegung einen ähnlichen Verlauf. Diesen gedanklich ermittelten Kraft-Zeitverlauf überprüfen wir dann im Experiment auf der Waage.

*Experiment 3:* Aus der Hockposition steht ein Schüler auf und bleibt aufrecht auf der Waage stehen. Wir werden feststellen, daß der obige Verlauf der richtige ist und die Analogie zur Abwärtsbewegung zutrifft.

Die Auswertung der Videoaufnahme wird die Bestätigung der obigen Annahme über den Kraft-Zeitverlauf erbringen.

In der Folge dieser Experimente sollte man in bezug auf die beiden Bewegungsexperimente einige Varianten ausprobieren. Interessante Fragen ergeben sich z.B. aus der unterschiedlichen Durchführung der beiden Bewegungen. Wie verändert sich der Kraft-Zeitverlauf, wenn man die Beuge- bzw. Streckbewegung relativ schnell oder langsam ausführt? Worin unterscheiden sich die Verläufe?

Bei den schnellen Ausführungen erscheinen die Kraft-Zeitverläufe zeitlich natürlich gestaucht. Die Kräfte weisen niedrigere (stärkere Entlastung) und höhere Werte (mehr Bremskraft) auf, wie folgende Abbildung für eine schnelle Aufstehbewegung zeigt.

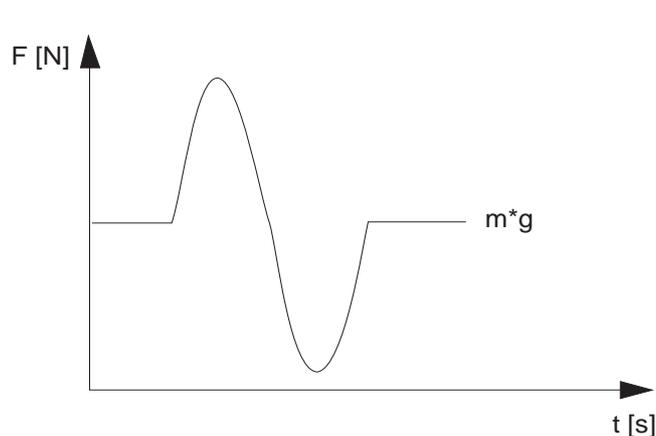


Abb. 8 Kraft-Zeitverlauf einer schnellen Aufstehbewegung

In der Folge sollen zwei weiteren Bewegungen betrachtet werden, die in verschiedenen Sportarten zur Leistungsdiagnostik verwendet werden. Die erste Bewegung ist der sogenannte Squat Jump (SJ). Es handelt sich hier um einen Streck sprung aus der statischen Hockposition.

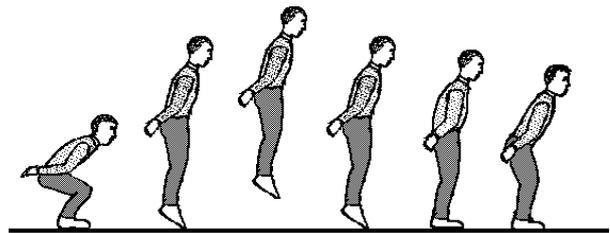


Abb. 9 Squat Jump

Auch hier ist vorher zu überlegen, wie der Kraft-Zeitverlauf aussehen könnte, bevor das Experiment erfolgt. Die entsprechenden Vorschläge werden wieder vorher diskutiert und daraus eine Erwartung für das folgende Experiment formuliert.

*Experiment 4:* Ein Schüler nimmt eine statische Hockposition ein und springt aus dieser nach oben ab. Die Landung sollte möglichst neben der Waage erfolgen, um diese nicht zu beschädigen und Verletzungen der Füße zu vermeiden.

Die Videoauswertung ergibt folgendes: Der Kraft-Zeitverlauf beginnt zunächst wieder auf Gewichtskraftniveau ehe er mit Beginn der Streckbewegung stark ansteigt. Mit dem Verlassen der Waage fällt die Anzeige auf Null zurück.

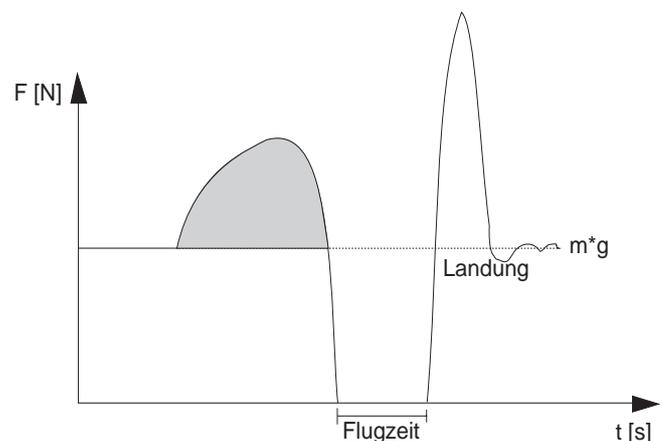


Abb. 10 Kraft-Zeitverlauf eines Absprun ges aus der Hockposition (Squat Jump)

2 Messung von Kraft und ihre Interpretation

Erfolgt die Landung wieder auf der Waage, steigt im Landemoment die Kraft stark an und reduziert sich dann auf Gewichtskraftniveau.

Zur Bestimmung der Flughöhe kann man auf zwei Verfahren zurückgreifen. So kann man zum einen aus dem im Absprung erzeugten Kraftstoß die Höhe ermitteln, zum anderen aus der Flugzeit, also der Dauer zwischen Abflug und Landung auf der Meßplattform.

Der Kraftstoß ist identisch mit der Fläche unter der Kraft-Zeitkurve. Je größer diese Fläche ist, desto höher ist die Abfluggeschwindigkeit  $v$  und damit auch die Flughöhe.

$$F * t = m * v$$

(Kraftstoß) (Impuls)

Natürlich reicht unsere Waagenmessung nicht für eine genaue Ermittlung dieses Flächeninhaltes aus, dazu benötigt man genaue Meßplattformen. Hat man auf einer solchen Plattform einen Sprung gemessen, kann man entweder die Kurve auf Millimeterpapier übertragen und durch Auszählen der Kästchen den Kraftstoß bestimmen oder über ein rechnerisches Verfahren direkt im Computer ermitteln. Mit der bekannten Masse des Springers kann die Abfluggeschwindigkeit berechnet werden und aus dieser wieder die Flughöhe.

Auch zur Flugzeitbestimmung ist die Waage nicht einsetzbar. Über eine Videoaufnahme können wir aber bis auf 2/100 s (Jogshuttle) genau die Flugzeit bestimmen. Wer über eine solche Möglichkeit verfügt, sollte sie nutzen. Die Bestimmung der Flughöhe erfolgt dann über die folgende Formel:

$$h = 1/2 g * (t)^2$$

( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;  $t = \text{Flugzeit in Sekunden}$ )

Die verwendete Formel beschreibt den freien Fall eines Gegenstandes aus einer bestimmten Höhe. Läßt man z.B. einen Stein von einem Turm fallen, kann man durch Stoppen der Zeit bis zum Aufprall auf dem Boden die Höhe, aus der der Stein fiel, berechnen. Da wir beim Streck sprung aber eine aufsteigende Phase und eine absteigende (Fall-) Phase haben, muß die Flugzeit beim Sprung noch halbiert werden.

$$h = 1/2 g * (t/2)^2$$

Beispiel:

$$t = 0,5 \text{ s}$$

$$h = 0,5 * 9,81 * 0,25^2 = 0,307 \text{ m}$$

Natürlich sind die Meßfehler bei einer Bestimmung der Flugzeit über eine Videoaufnahme relativ groß, aber zur anschaulichen Darstellung des Verfahrens reicht dieses Vorgehen aus. Bei der Durchführung der Sprünge muß man darauf achten, daß die Landung nach dem Sprung mit gestreckten Beinen und Füßen erfolgt. Nur dann ist gewährleistet, daß die Flugzeiten nicht künstlich verlängert werden.

Das zweite leistungsdiagnostische Verfahren, das betrachtet werden soll, ist der sogenannte Countermovement Jump. Hierbei handelt es sich um einen Sprung mit Ausholbewegung. Er beginnt mit dem aufrechten Stand, an den sich eine dynamische Ausholbewegung anschließt. Nach einer Bewegungsumkehr erfolgt der Absprung nach oben.

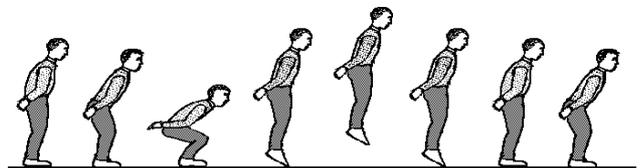


Abb. 11 Countermovement Jump

Wir sammeln auch hier wieder Vorschläge zum Kraft-Zeitverlauf. Aus den Kenntnissen zu den vorher behandelten Aufgaben müßten die Schüler in der Lage sein, den Verlauf korrekt anzugeben. Da diese Bewegung nur noch schwer über die Waage experimentell zu beobachten ist, sollte im Anschluß ein real gemessener Verlauf betrachtet werden. Interessant ist an diesem Beispiel außerdem die Möglichkeit, einzelne Bewegungsphasen der Kraft-Zeitkurve zuzuordnen. Diese Aufgabe sollte unter Nutzung der obigen Bildreihe gemeinsam gelöst werden.

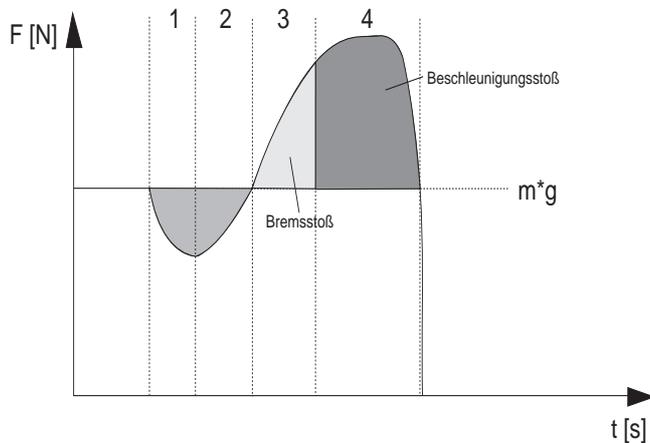


Abb. 12 Kraft-Zeitverlauf Countermovement Jump

Zunächst erkennt man den ruhigen Stand auf der Plattform am parallelen Verlauf zur Zeitachse, die Kraft befindet sich auf Gewichtskraftniveau. Mit Beginn der Ausholbewegung fällt die Stützkraft ab und die Geschwindigkeit nimmt zu (Phase 1). Ab dem unteren Umkehrpunkt reduziert sich die Geschwindigkeitszunahme (Phase 2) und sobald die Kurve die Gewichtskraft erreicht, erfolgt die Abbremsung der Abwärtsbewegung (Phase 3). Erst dann wird der tiefste Punkt der Ausholbewegung erreicht. Zu diesem Zeitpunkt finden wir Kraftwerte, die deutlich über Gewichtskraftniveau liegen. Die folgende Streckbewegung der Beine erzeugt einen weiteren Anstieg der Kraft und endet mit dem Abflug von der Platte. Die Stützkraft sinkt dann auf Null ab. Eine Beschleunigung des Körpers erfolgt aber nur bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Kraft-Zeitkurve das Gewichtskraftniveau erreicht (Phase 4). Darunter reicht die Kraft nicht mehr aus, um eine weitere Beschleunigung zu bewirken.

Der Kraftstoß, der in Phase 4 erzeugt wird, bestimmt die Flughöhe. Da zu Beginn der Phase 4, also der Streckbewegung, schon ein relativ hoher Kraftwert meßbar ist, bezeichnet man diese Kraft auch als Anfangskraft. Durch diese Anfangskraft kann der Kraftstoß (die Fläche unter der Kraft-Zeitkurve) vergrößert werden, und es ist zu erwarten, daß gegenüber Sprüngen aus der Hockposition auch höhere Höhen erreicht werden. Zwar verkürzt sich die Absprungbewegung durch die höhere Bewegungsgeschwindigkeit gegenüber dem Squat Jump, aber der Gewinn an Anfangskraft wiegt diesen kleinen Verlust an Zeit, in der Kraft wirken kann, wieder mehr als auf.

Der Zeitpunkt der Streckbewegung ist in der Kraft-Zeitkurve nicht direkt ermittelbar. Rechnerisch läßt er sich aber bestimmen. Dazu muß zunächst der Kraftstoß der Phasen 1 und 2 bestimmt werden. Anschließend wird der Punkt gesucht, an dem die Fläche der Phase 3 genauso groß ist wie die Summe der Phasen 1 und 2. Die Phasen 1 und 2 charakterisieren den Kraftstoß der für die abwärts gerichtete Beschleunigung verantwortlich ist und dieser muß genauso groß sein wie der Kraftstoß zur Abbremsung der Abwärtsbewegung (Bremsstoß). Die Zuordnung der Bewegung zu einzelnen Bewegungsphasen sieht dann wie folgt aus:

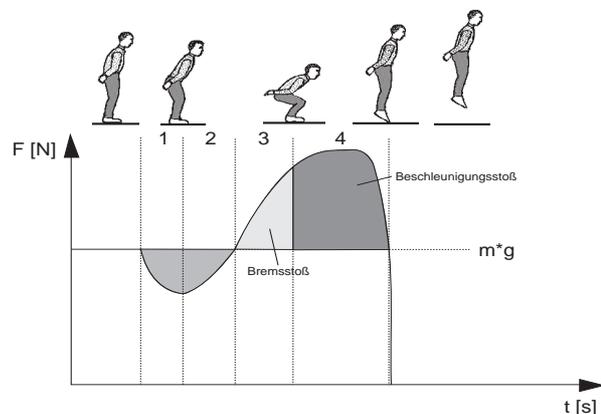


Abb. 13 Kraft-Zeitverlauf und Strichzeichnung Countermovement Jump

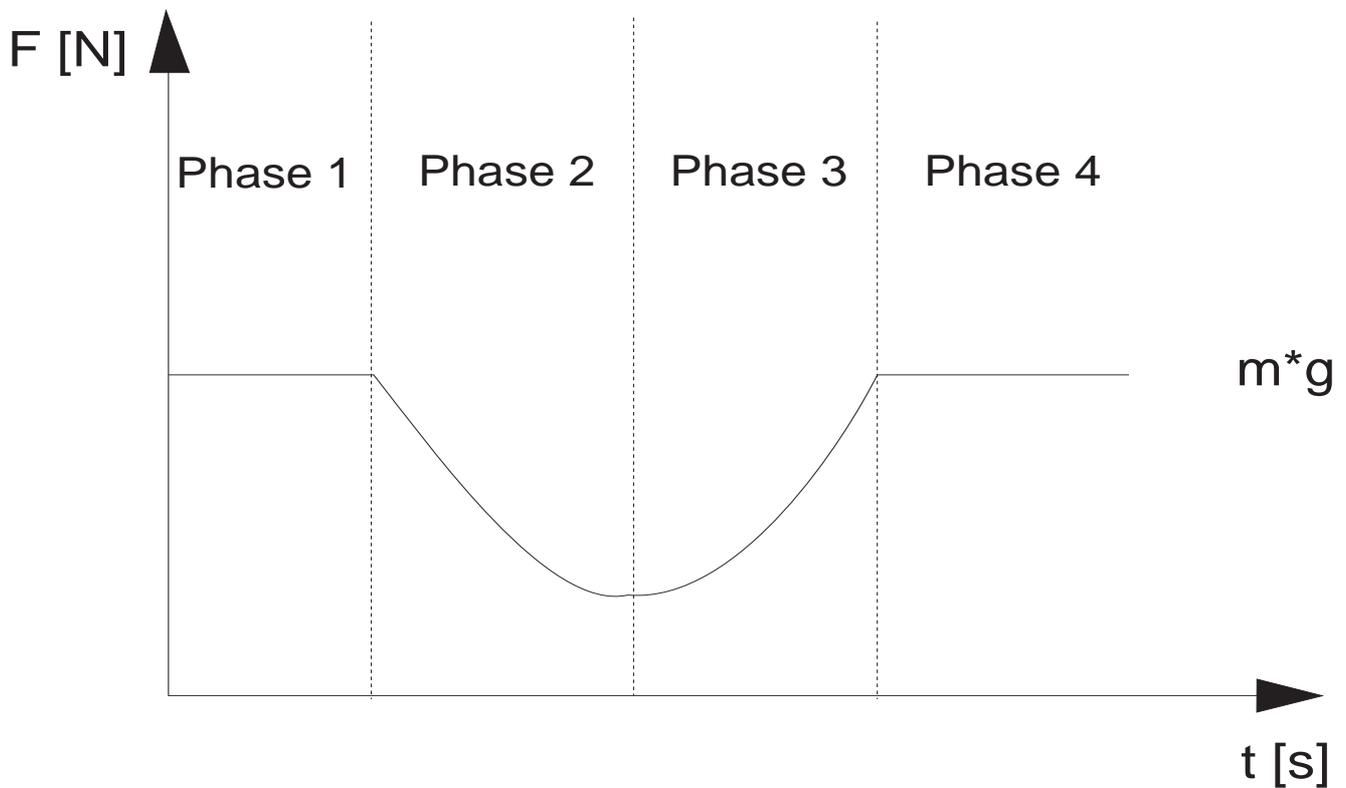
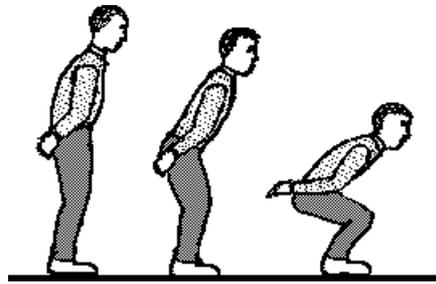
### 3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wie gezeigt werden konnte, lassen sich auch mit einfachen Mitteln einfache Bewegungen experimentell bezüglich ihrer Kraft-Zeitverläufe untersuchen. Nach Bearbeitung der obigen Beispiele sollten die Schüler in der Lage sein, sich in Kraft-Zeitverläufe „einzudenken“ und diese angemessen interpretieren zu können. Im Sport lassen sich viele weitere Beispiele finden, bei denen wir ähnliche Phänomene finden, wie die in den behandelten auftreten. So können z.B. alle einbeinigen und beidbeinigen Absprünge bezüglich ihrer Aushol-, Amortisations- und Streckphasen unterschieden werden. Wir finden dort immer wieder typische Kraft-Zeitverläufe, die über die Qualität der Bewegungsausführung Auskunft geben. Für eine quantitative Bewegungsanalyse bilden daher Kraft-Zeitverläufe eine wesentliche Grundlage.

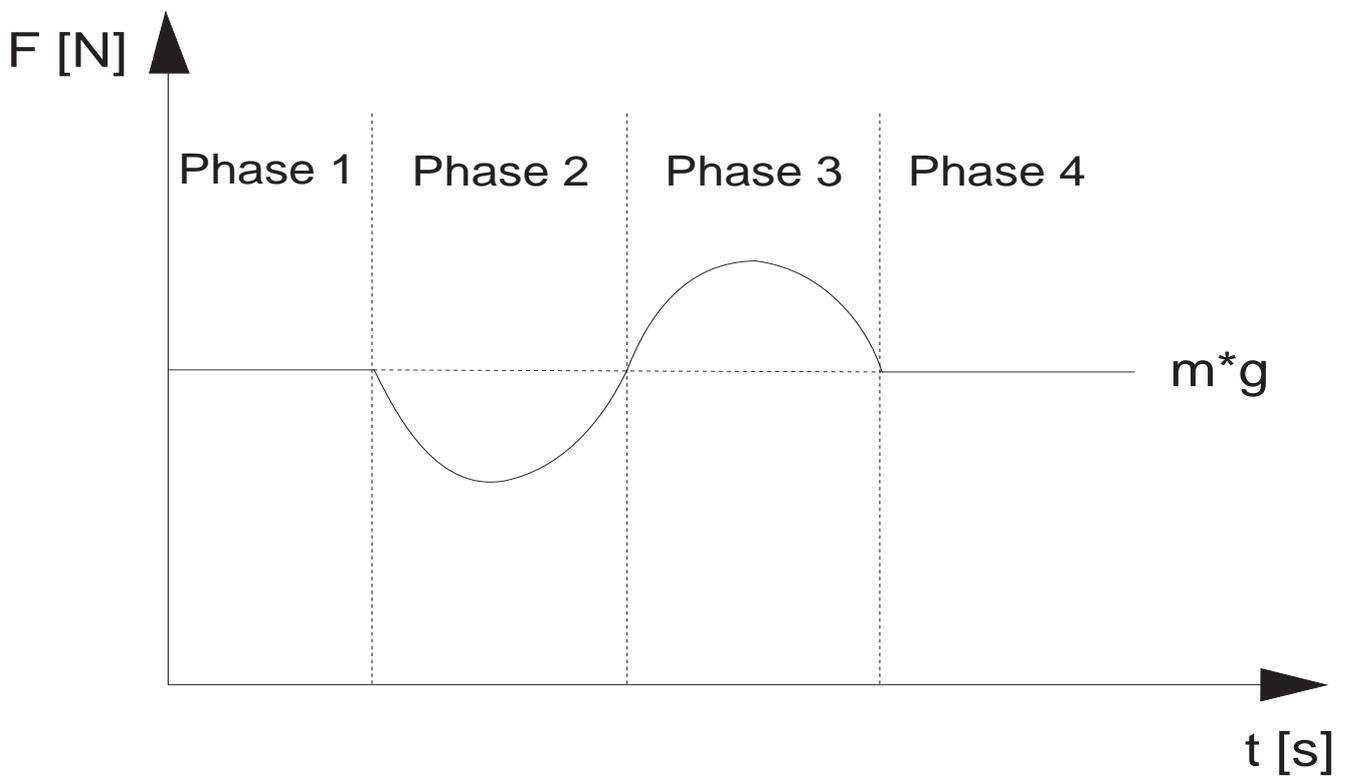
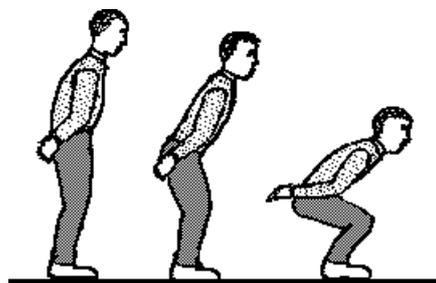
## Kraft-Zeitverlauf beim Stehen auf einer Kraftmeßplattform



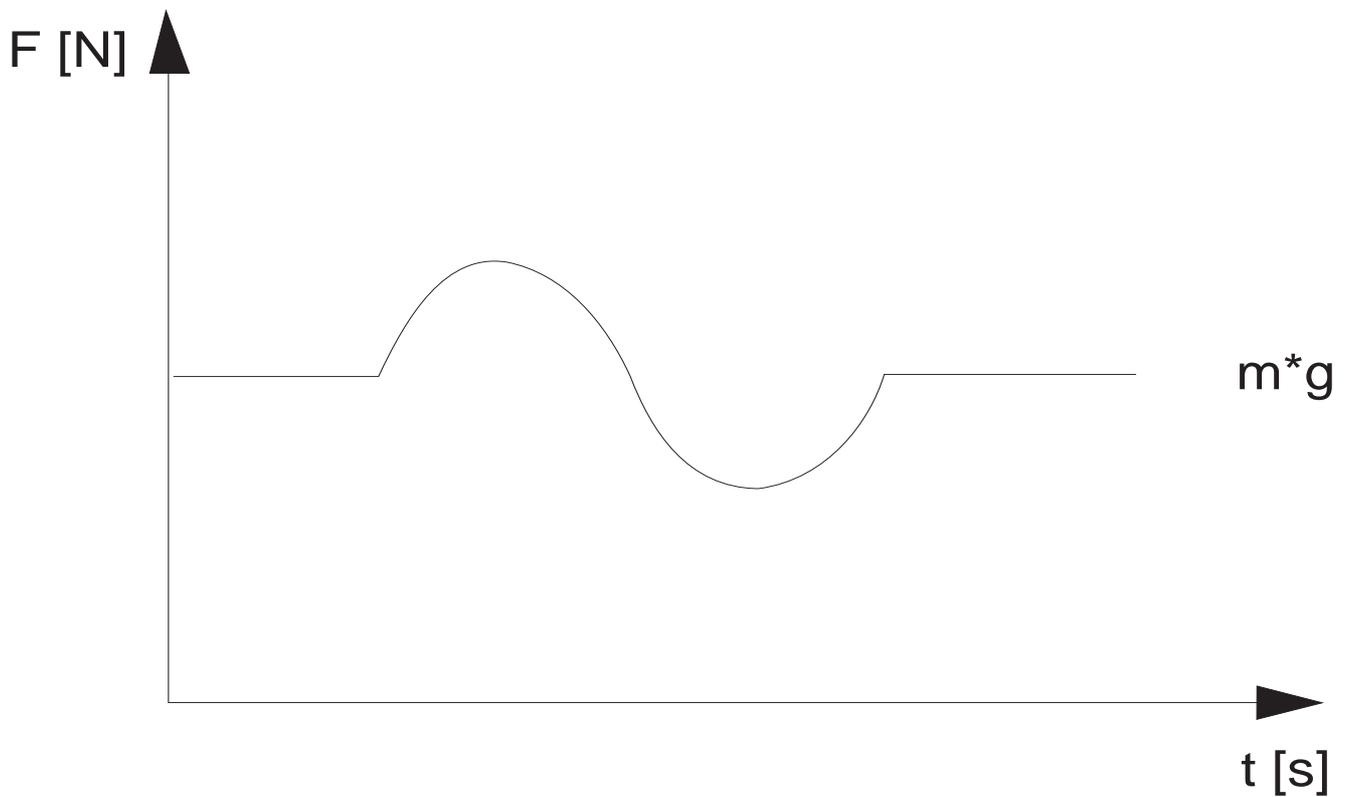
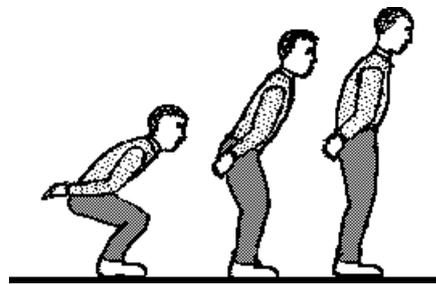
## Möglicher Kraft-Zeitverlauf beim Tiefgehen in die Hocke?



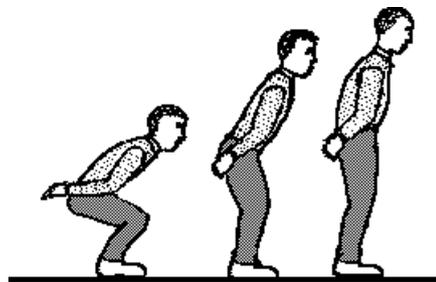
## Möglicher Kraft-Zeitverlauf beim Tiefgehen in die Hocke?



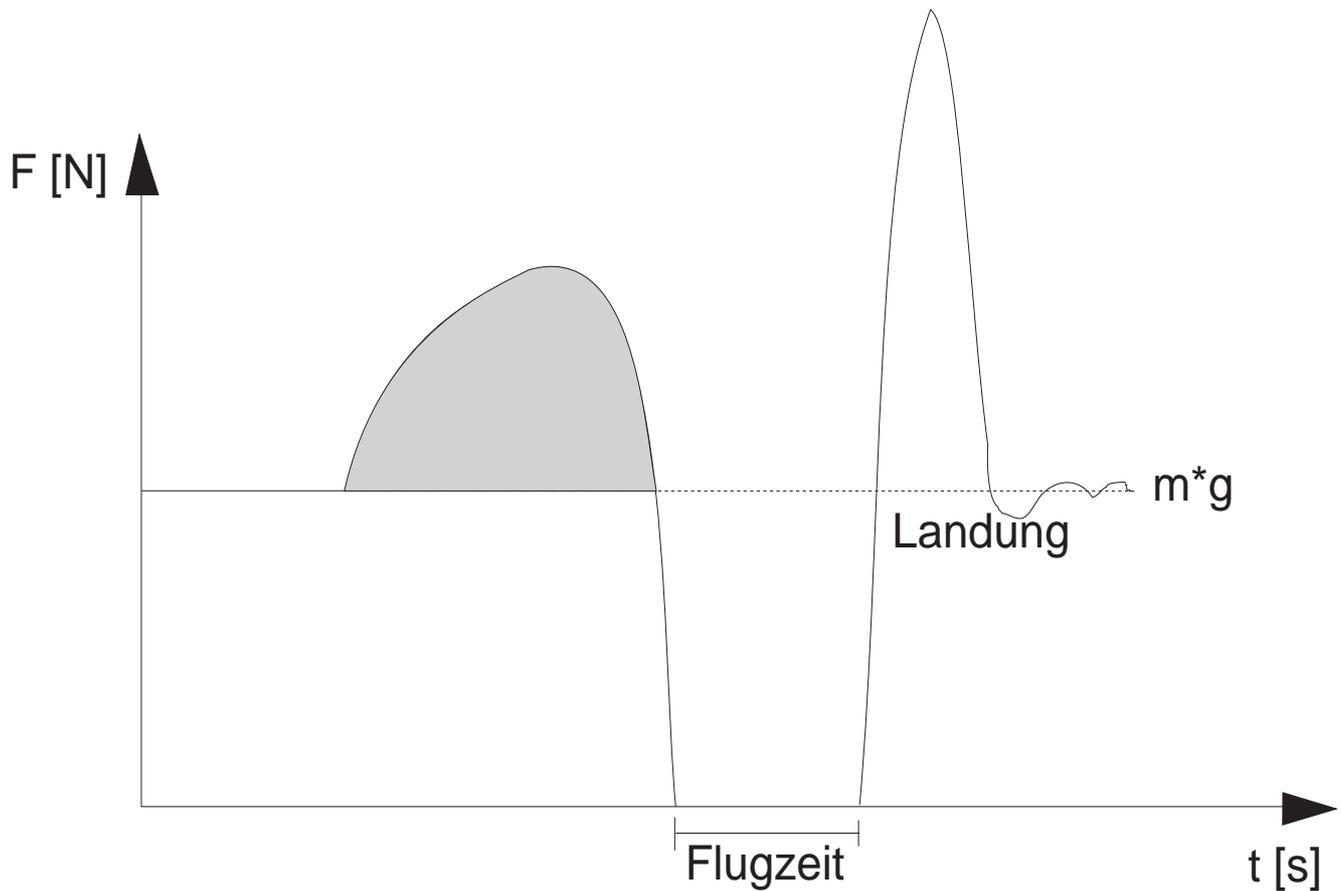
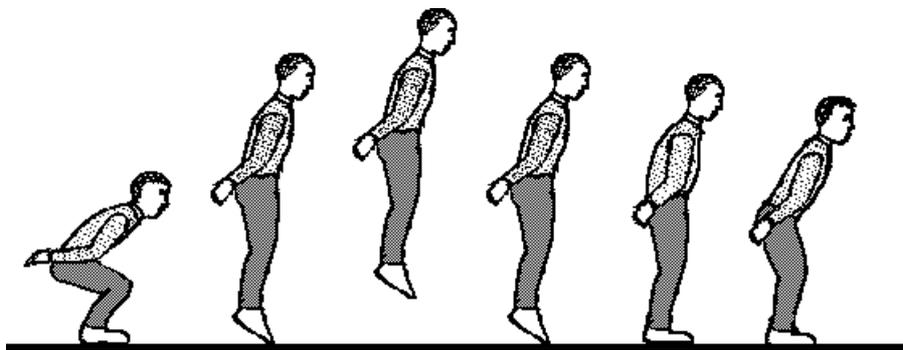
## Kraft-Zeitverlauf beim Aufstehen aus der Hocke?



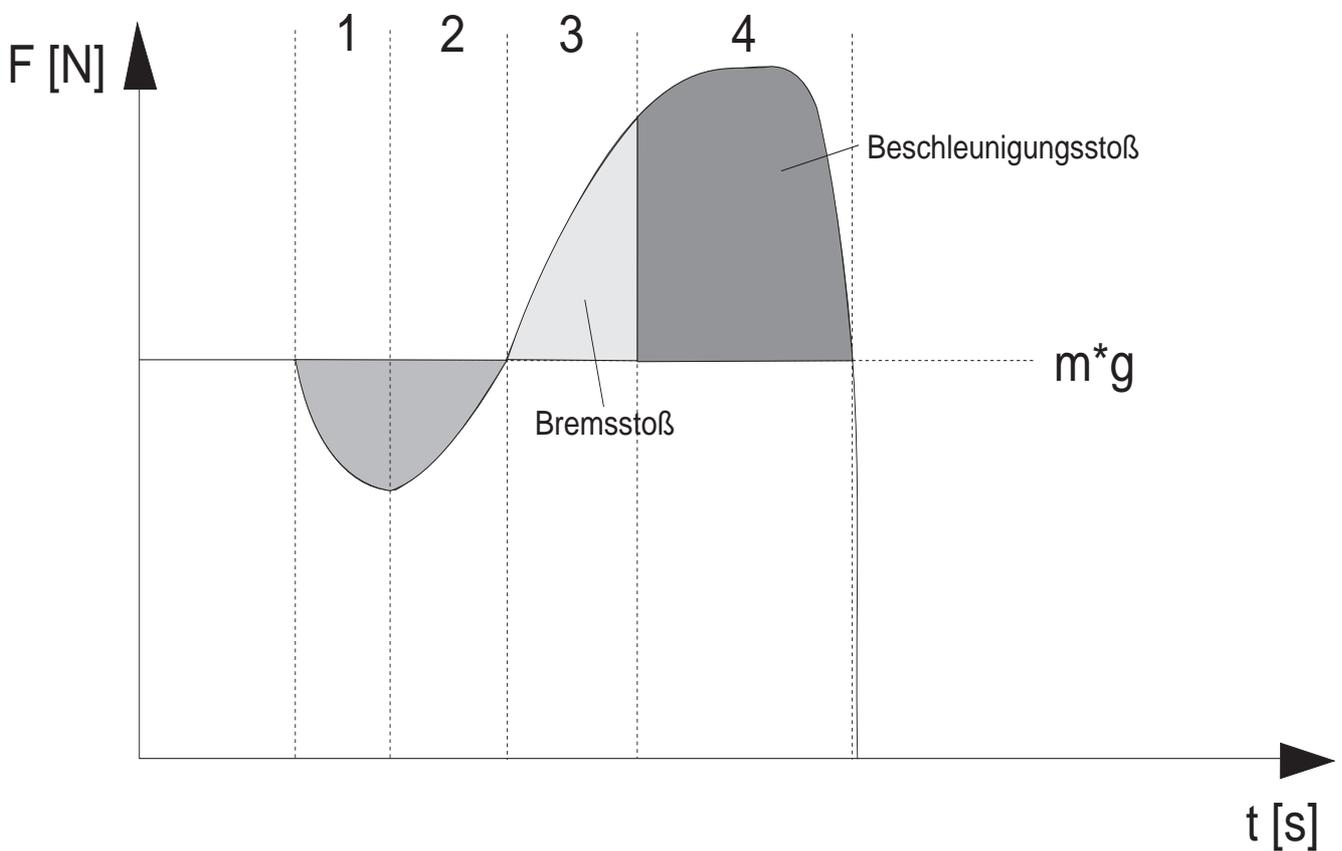
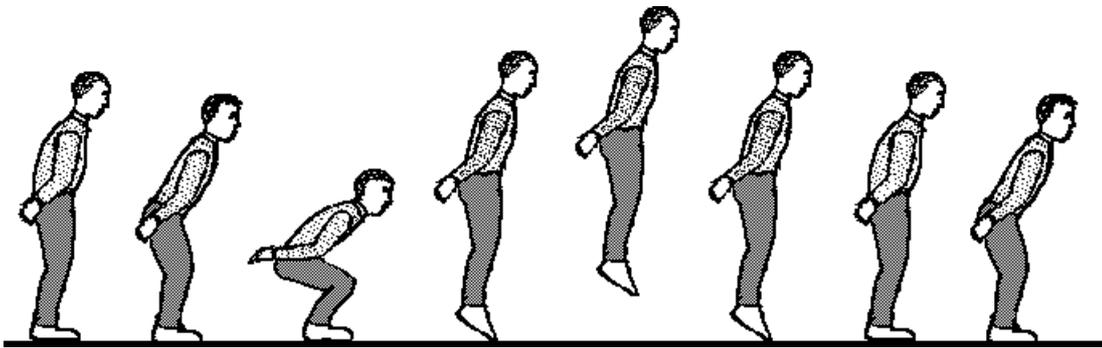
## Kraft-Zeitverlauf beim schnellen Aufstehen aus der Hocke?



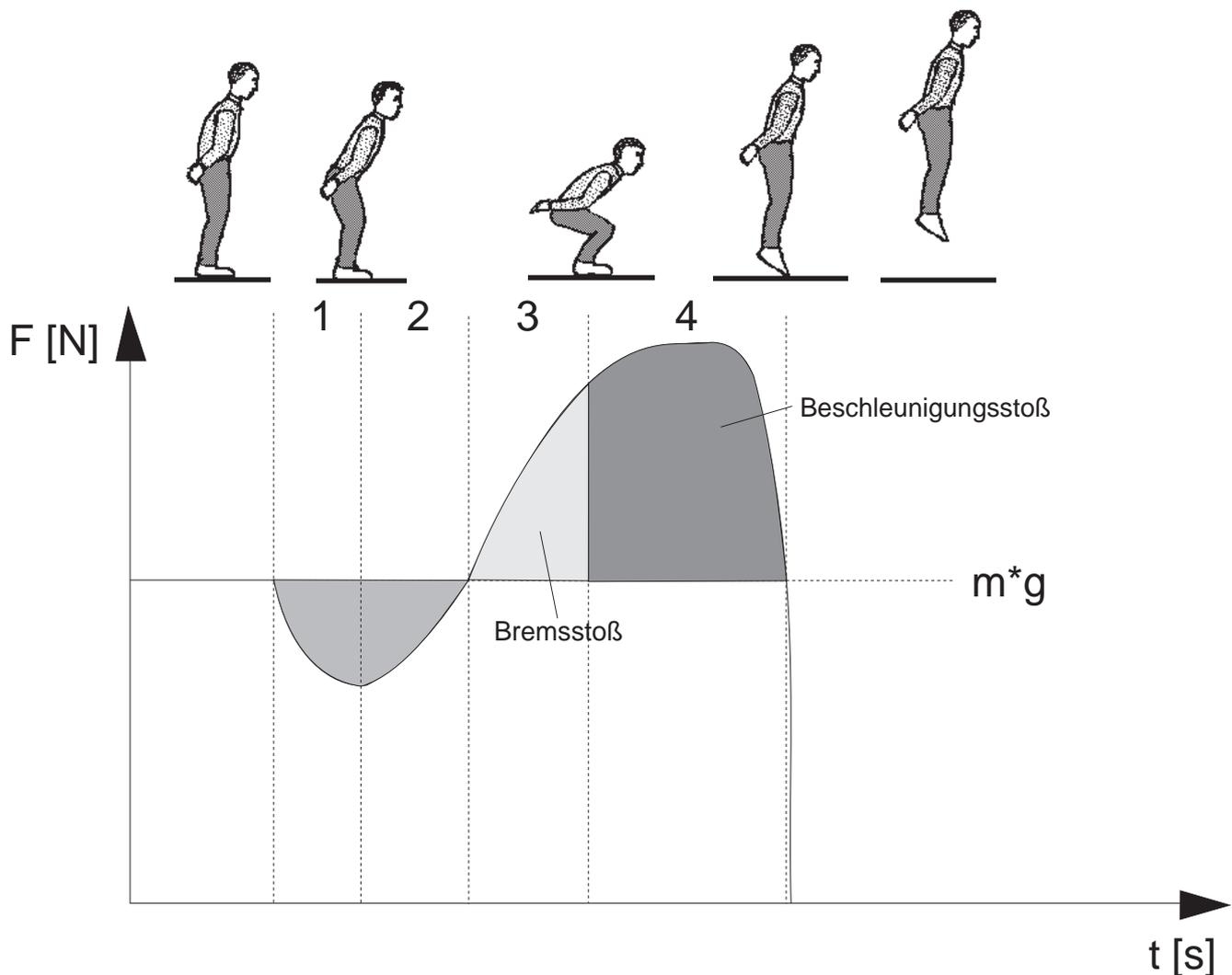
# Kraft-Zeitverlauf Squat Jump



# Kraft-Zeitverlauf Countermovement Jump



## Zuordnung der Sprungbewegung zum Kraft-Zeitverlauf Countermovement Jump



Literaturangaben:

GÖHNER, U.: Kraftkurven verstehen können.  
Sportunterricht 1993, 42, 4, 139-147.

GÖHNER, U.: Kraftstöße interpretieren können.  
Sportunterricht 1993, 42, 4, 148-160.

WILLIMCZIK, K. (Hrsg.): Biomechanik der Sportarten. Reinbek 1989

Die Artikel von Göhner empfehlen sich als ergänzende Lektüre!

*Der promovierte Bewegungswissenschaftler Martin Hillebrecht arbeitet in Freiburg als Biomechaniker am Olympiastützpunkt und am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Freiburg. Er war lange Zeit in der Übungsleiter- und Trainerausbildung und in der Leichtathletik als Vereins- und Verbandstrainer tätig.*