

Habt ihr schon gewusst 258 ... Physik & Sport

Moderne Messwert-Erfassungssysteme haben zu einem Paradigmenwechsel in der Messtechnik geführt. In vorigen „Sendungen“ wurde dieser Paradigmenwechsel beschrieben. Eines der Argumente für die Anschaffung – z.B. des XplorerGLX der Firma CONATEX ist die Möglichkeit, den XplorerGLX in der Klassenstufe 5 in den Naturphänomenen bei Temperaturmessungen einzuführen und das gleiche Gerät sowohl in der Geographie (Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Lichtintensität, Wolkenbedeckung, Niederschlagsmenge ...) oder in der Biologie, in der Chemie – sogar im Sport einzusetzen.

Im **Sport** schließen die Schülerinnen und Schüler die Kraftplattform an und können aus Sicht der Physik ganz anspruchsvolle Experimente durchführen. Hinweis am Rande: Die Interpretation derartiger Kraft-Zeit-Diagramme sind Gegenstand der Abiturprüfung im Fach Sport und für die Physik-Schülerinnen und Schüler eine nicht zu unterschätzende Herausforderung.

Vor der Übung müssen **Begriffe** abgeklärt werden:

- „Reich-Höhe“ ... darunter versteht man die Distanz zwischen den Fußsohlen und der Fingerspitze der nach oben ausgestreckten Hand.
- „Differenzsprunghöhe“ ... darunter versteht man die Differenz zwischen der „Sprunghöhe“ und der „Reich-Höhe“. Die Sprunghöhe ergibt sich als Distanz zwischen dem Absprungniveau (Boden) und der Fingerspitze der nach oben ausgestreckten Hand.

In Absprache mit dem Sportlehrer werden folgende Experimente | Übungen durchgeführt ...

(I)	Stand-Sprunghöhe – Beschleunigungsweg
(II)	Sprung aus der Höhe h
(III)	Squat-, Counter-, Drop-Jump
(IV)	Bewegungsarten
(V)	Standsprung mit Ausholen
(VI)	Gehen
(VII)	Abbremsen

Experimentiermaterial

- Maßband, Klebeband für die Höhenmessung – Sport oder Physiksammlung
- Kraftplattform, XplorerGLX, Datastudio, USB-Kabel, Notebook – Sportsammlung bzw. Physiksammlung
- Kasten aus der Sportsammlung ... minimal drei Kastenteile

(I) Höhe beim Stand-Sprung

Die Teams sollen hintereinander aus verschiedenen Ausgangspositionen - (a) sitzen in der Hocke, (b) Sitzen auf einem Kastenteil, (c) sitzen auf zwei Kastenteilen, (d) sitzen auf drei Kastenteilen - so hoch wie möglich springen. Damit die Variation durch die Körpergröße möglichst ausgeblendet wird, bestimmen wir die „Differenzsprunghöhe“ – siehe oben.

Übung ...

- [01] Diskutieren Sie in Ihrem Team, aus welcher der vier Positionen die größte „Differenzsprunghöhe“ erreicht wird. Formulieren Sie mit Ihrem Team eine Vorhersage! Von welchem physikalischen Wissen gehen Sie bei Ihrer Vorhersage aus?
- [02] Führen Sie das Experiment durch!
- [03] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis – wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ... Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

Messung

- [04] Diskutieren Sie in Ihrem Team, welches Kraft-Zeit-Diagramm sich bei den drei Sprüngen einstellt. Formulieren Sie eine Vorhersage – fertigen Sie eine Skizze des erwarteten Kraft-Zeit-Diagramms an!
- [05] Führen Sie das Experiment mit der Kraftplattform aus!
- [06] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis – wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ... Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

(II) Sprung aus der Höhe h

Die Teams sollen hintereinander aus verschiedenen Höhen abspringen, auf der Kraftplattform landen und dann senkrecht nach oben springen. Ausgeführt werden folgende Varianten: (a) Sprung aus der Höhe eines Kastenelements, (b) Sprung aus der Höhe zweier Kasten-elemente, (c) Sprung aus der Höhe von drei Kasten-elementen. Damit die Variation durch die Körpergröße möglichst ausgeblendet wird, bestimmen wir die „Differenzsprunghöhe“ – siehe oben.

Übung ...

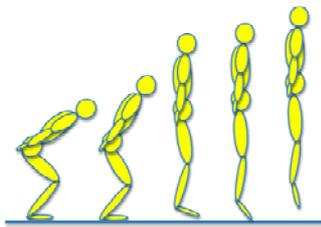
- [01] Diskutieren Sie in Ihrem Team, welche der drei Varianten die größte „Differenzsprunghöhe“ ergibt. Formulieren Sie in Ihrem Team eine Vorhersage! Von welchem physikalischen Wissen gehen Sie bei Ihrer Vorhersage aus?
- [02] Führen Sie das Experiment durch!
- [03] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis – wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ... Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

Messung

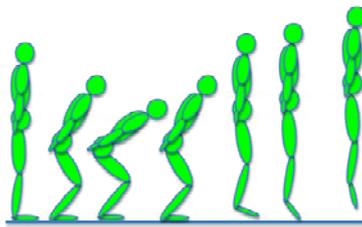
- [04] Diskutieren Sie in Ihrem Team, welches Kraft-Zeit-Diagramm sich bei den drei Sprüngen einstellt. Formulieren Sie eine Vorhersage – fertigen Sie eine Skizze des erwarteten Kraft-Zeit-Diagramms an!
- [05] Führen Sie das Experiment mit der Kraftplattform aus!
- [06] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis – wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ... Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

(III) Squat-, Countermovement- und Drop-Jump

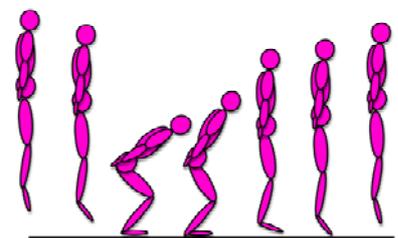
Die Teams sollen hintereinander diese drei Sprungarten durchführen:



Squat-Jump



Countermovement-Jump



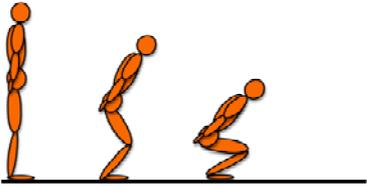
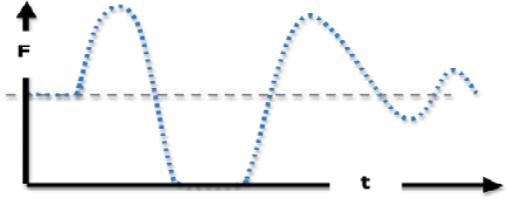
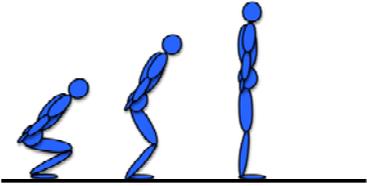
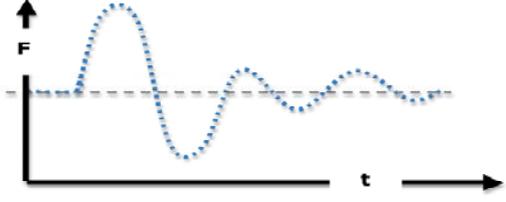
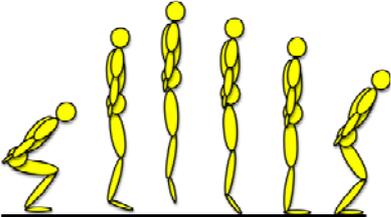
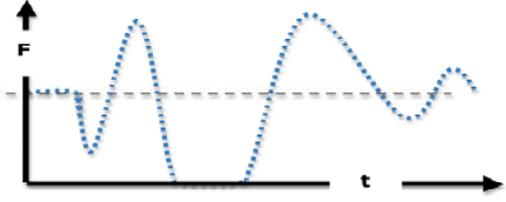
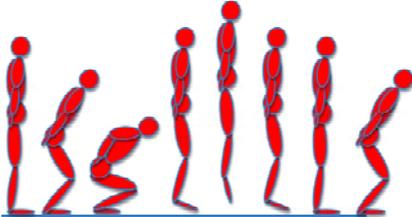
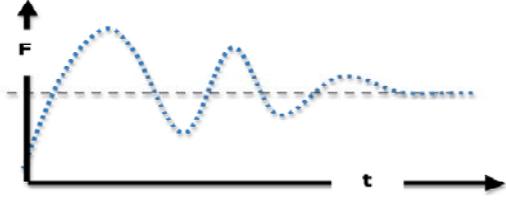
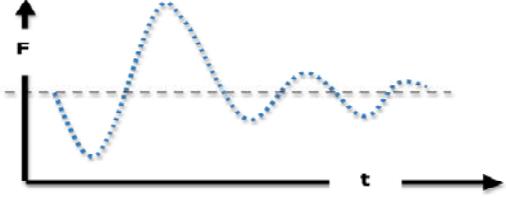
Drop-Jump

Arbeitsauftrag

- [01] Diskutieren Sie in Ihrem Team, welches Kraft-Zeitdiagramm sich bei diesen drei Sprungarten ergibt?
- [02] Führen Sie das Experiment durch!
- [03] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis – wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ... Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

(IV) Bewegungsarten

In der folgenden Tabelle finden Sie vier „Sprungbilder“ und fünf Kraft-Zeit-Diagramme.

<p>1</p> 	<p>A</p> 
<p>2</p> 	<p>B</p> 
<p>3</p> 	<p>C</p> 
<p>4</p> 	<p>D</p> 
	<p>E</p> 

Arbeitsauftrag

- [01] Diskutieren Sie in Ihrem Team, welche der vier „Sprungbilder“ zu welchem der 5 „Kraft-Zeit-Diagramme“ passen!
- [02] Erfinden Sie – WENN möglich - einen Bewegungsablauf im 5ten Feld, für das noch „offene“ F-t-Diagramm! Wenn es solch einen Bewegungsablauf nicht gibt, begründen Sie Ihre Entscheidung!
- [03] Führen Sie die Sprünge aus den vier „Sprungbildern“ auf der Kraftplattform aus ... d.h. simulieren Sie die abgebildeten Bewegungen gewissermaßen im Stand, verlassen Sie hierbei die Kraftplattform nicht.
- [04] Reflektieren Sie Ihr Ergebnis –
 - wurde die Vorhersage verifiziert ... oder falsifiziert ...
 - Konnten Sie die Kraft-Zeit-Diagramme „nachstellen“ und auf der Kraftplattform auch messen?
 - Erläutern Sie den physikalischen Hintergrund.

(V) Standsprung mit Ausholen

Die Teams bekommen den Auftrag, folgenden „Hochsprung“ auf der Kraftplattform auszuführen: Die Versuchsperson (V-P) steht auf der Plattform und der XplorerGLX wird gestartet. Nun geht die V-P in die Knie, springt nach oben und landet auf der Versuchsplattform.

(I.1) Die Teams bekommen ein Diagramm in der folgenden Form → siehe Bild 01

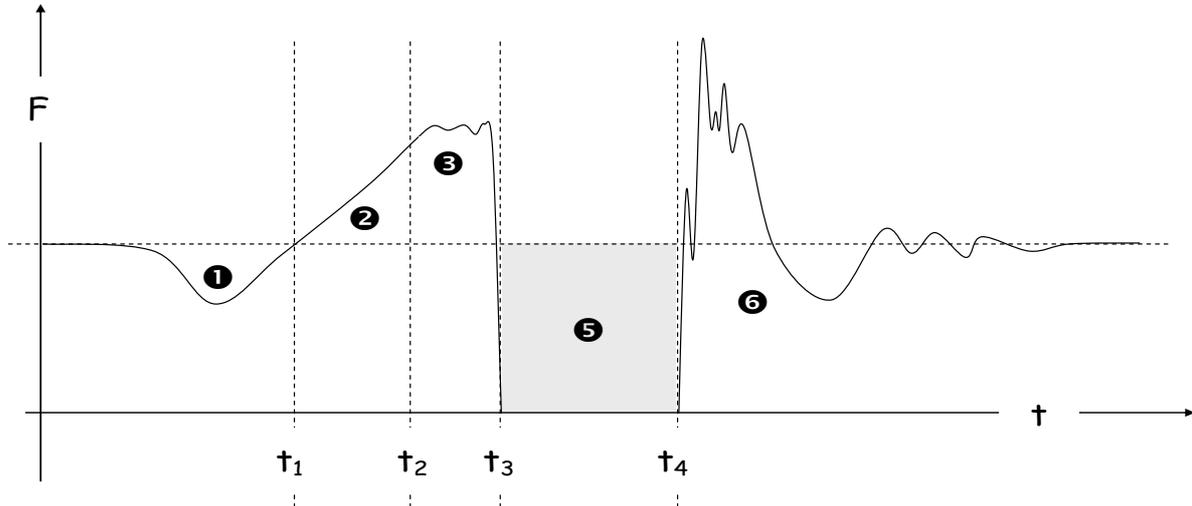


Bild 01

(I.2a) **offene Form ... differenzierter Unterricht**

Die Teams interpretieren das Diagramm ...

Die Teams überlegen sich, warum man nicht so hoch springen kann, wenn die V-P in die Knie geht, dort ein Weile hocken bleibt und dann hoch springt?

(I.2b) **geführte Frageform¹**

- Das F-t-Diagramm hat ein erstes relatives Minimum – wo befindet sich zu diesem Zeitpunkt die V-P?
- Welchen Bewegungsabschnitt führt die V-P zum Zeitpunkt t_1 aus?
- Welchen Bewegungsabschnitt führt die V-P zum Zeitpunkt t_2 aus?
- An welcher Stelle im Diagramm befindet sich die Person im tiefsten Punkte ihrer Bewegung?
- In welchen Abschnitten des F-t-Diagramms liegen Verzögerungs- bzw. Beschleunigungsphasen?
- Welche Bewegung führt die V-P kurz vor dem Zeitabschnitt t_3 aus?
- In welchem Bereich verlässt die V-P die Plattform?
- Wie kann man den Abschnitt jenseits von t_4 deuten?

¹ ... siehe Anhang ... zwei Antwort-Varianten

(VI) Gehen

Die Teams sollen die Normal- und Querkraften beim Gehen untersuchen. Sie bekommen dazu eine Kraftplattform und viele „alte Bücher“, um die Kraftplattform so in den Laufweg einzubetten, dass beim Gehen keine „Stufe“ überwunden werden muss.

Die Teams diskutieren die Randbedingungen, damit das Gehen an der Stelle der Plattform ohne Verzögerung, Schrittwechsel oder Trippeln erfolgt.

(II.1) Die Teams bekommen ein Quer-Kraft-Diagramm etwa in der folgenden Form → siehe Bild 02

(II.2) Die Teams erstellen ein Normal-Kraft-Diagramm.

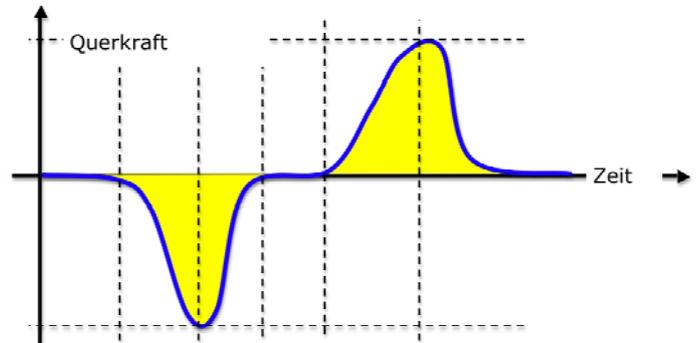


Bild 02

(II.3) Die Teams interpretieren das Quer-Kraft-Diagramm ... ²

- ... u.a. das Niveau zwischen den beiden relativen Minima ... ³
- ... u.a. die Flächeninhalte unter den Kurven ... ⁴

(II.4) Die Teams interpretieren das Normalkraft-Diagramm

- ... u.a. welche maximale Normalkraft tritt beim Gehen auf? ⁵
- ... u.a. welche Bedeutung haben die relativen Maxima im Normalkraft-t-Diagramm? ⁶

(III) Welcher Unterschied ergibt sich beim Joggen – im Vergleich zum Gehen? ⁷

(VII) Abbremsen beim Gehen

Die Teams sollen nun aus dem Gehen heraus abbremsen und die beim Abbremsen wirksame Querkraft (Längskraft) mit der Kraftplattform bestimmen.

Aus dem F_{Quer} -t-Diagramm sollen die Teams die „Schrittgeschwindigkeit der Versuchsperson“ erschließen. ⁸

² Beim Auftreten wirkt eine Querkraft (Längskraft) nach vorne auf die Fläche – die Reaktio erkennt man als Kraftausschlag nach unten.

... anschließend steht der Fuß auf der Plattform, während der andere Fuß nach vorne schwingt – erkennbar an dem Verschwinden des Kraftausschlages ... dann erfolgt eine Beschleunigung der V-P nach vorne – entsprechend ein positiver Kraftausschlag nach oben.

³ Hier steht der Fuß auf der Kraftplattform, während der andere Fuß nach vorne schwingt.

⁴ Im F-t-Diagramm ergibt sich die Impulsänderung unter der Fläche des Diagramms. Geht man von einer konstanten Geh-Geschwindigkeit aus, dann müssten die beiden Flächen gleich groß sein – bzw. die resultierende Fläche (vorzeichenbehaftet) müsste verschwinden. Denn die Impulsreduktion beim Auftreten (Abbremsung) muss beim Wegtreten durch eine Impulszunahme (Beschleunigung) ausgeglichen werden, wenn der Gesamtimpuls (und damit die Gehgeschwindigkeit) konstant bleiben soll.

⁵ ... das Maximum liegt in der Größenordnung der Schwerkraft

⁶ ... der Fuß wird beim Auftreten in vertikaler Richtung abgebremst ... dann steht der Fuß auf der Plattform ... und dann wird er nach oben beschleunigt. Es ergeben sich also zwei relative Maxima mit einem dazwischen liegenden Minimum.

⁷ Beim Gehen ergeben sich bei einem Schüler mit der Masse von 65 kg eine Kraft von etwa 60 Newton. Beim Joggen ergibt sich ein maximale Querkraft von 160 Newton. Die Normalkraft beim Joggen liegt im Bereich von 1600 N ... d.h. die Belastung der Gelenke beim Joggen liegen wesentlich höher als beim Gehen.

⁸ Im F-t-Diagramm ergibt sich die Fläche unter dem Diagramm als Impulsänderung. Kennt man die Masse der V-P, kann man auf v schließen.

Antwort ... zu (V) → 1. Variante

Auf die Kraftplattform wirkt eine Actio (Angriffspunkt Kraftplattform!), die gleich groß ist, wie die Schwerkraft. Die Reactio der Kraftplattform auf die V-P (Angriffspunkt V-P!) liefert zusammen mit der Schwerkraft ein Kräftegleichgewicht – die resultierende Kraft auf die V-P verschwindet – die V-P erfährt keine Impulsänderung – sie steht in Ruhe auf der Plattform. Die Kraftplattform registriert den Betrag der Actio bzw. der betragsmäßig gleich großen Reactio im F-t-Diagramm. Im Diagramm bedeutet ein Ausschlag nach oben, dass die Kraftplattform mit einer Actio nach unten zusammen gedrückt wurde. Da die Reactio betragsgleich zur Actio ist, kann man das Diagramm so deuten, dass die im Diagramm aufgetragene Kraft in Betrag und Richtung mit der Reactio auf die V-P übereinstimmt.

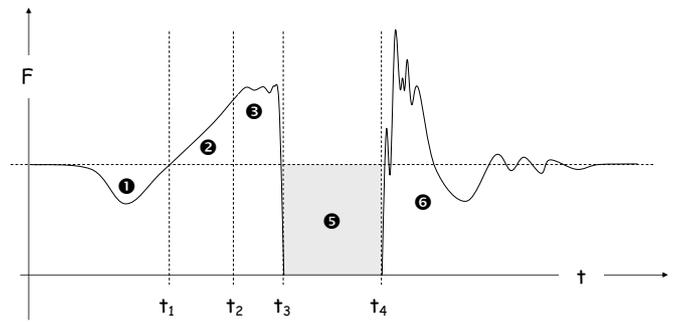


Bild 01 - Standsprung mit Ausholen

Verläuft die Kurve (siehe Bild 01) also parallel zur t-Achse im Abstand F_G nach oben, dann bildet die Schwerkraft nach unten und die Reactio nach oben – wie schon beschrieben - ein Kräftegleichgewicht.

Liegt die F-Kurve unter der F_G -Linie, dann bedeutet das, dass eine resultierende Kraft $F_R = F_{\text{Reactio}} - F_G$ auftritt – in diesem Fall also eine resultierende Kraft nach unten.

Liegt die F-Kurve oberhalb der F_G -Linie, dann bedeutet das, dass eine resultierende Kraft $F_R = F_{\text{Reactio}} - F_G$ auftritt – in diesem Fall also eine resultierende Kraft nach oben.

Man muss sorgfältig darauf achten, dass eine fallende F-Kurve keines Falls bedeutet, dass die Person sich nach unten bewegt ... bzw. dass eine steigende F-Kurve darauf hinweist, dass sich die Person zwangsläufig nach oben bewegt.

Unterscheide also folgende Fälle ($F_{\text{Resul}} = F_{\text{Reactio der Plattform auf die V-P nach oben}} - F_{\text{Schwerkraft nach unten}}$)

- V-P steht in Ruhe und $F_{\text{Resul}} = 0$... → Person bleibt in Ruhe
- V-P steht in Ruhe und $F_{\text{Resul}} < 0$... → Person erfährt eine resultierende Kraft nach unten und wird nach unten aus der Ruhe heraus beschleunigt
- V-P bewegt sich nach unten und $F_{\text{Resul}} < 0$ → die Person erfährt eine resultierende Kraft nach unten und wird nach unten beschleunigt ... sie wird also nach unten schneller
- V-P bewegt sich nach unten und die F-Kurve erreicht ihr relatives Minimum .. d.h. F_{Resul} erreicht ihren größten negativen Wert – d.h. die beschleunigende Kraft nach unten ist gerade maximal ... die Geschwindigkeit wächst gerade maximal an
- V-P bewegt sich nach unten und F_{Resul} nimmt ab ... d.h. die beschleunigende Kraft nimmt ab ... die F-Kurve liegt noch unterhalb der F_G -Linie, steigt aber an. Der Körper wird immer noch nach unten beschleunigt ... allerdings etwas weniger als im relativen Minimum.
- Die V-P bewegt sich nach unten und $F_{\text{Resul}} = 0$... d.h. die V-P wird nicht mehr beschleunigt, sie hat gerade ihre maximale Geschwindigkeit nach unten.
- Die V-P bewegt sich nach unten und $F_{\text{Resul}} > 0$... d.h. es wirkt auf die nach unten bewegte Person eine Kraft nach oben – d.h. die V-P wird in ihrer Bewegung nach unten verzögert ... sie bewegt sich immer langsamer nach unten.
- Die V-P kommt im tiefsten Punkt ihrer Bewegung an ... d.h. $F_{\text{Resul}} > 0$ - also nach oben - hat die V-P bis zum Stillstand (im tiefsten Punkt) abgebremst.
- Die V-P befindet sich in Ruhe im tiefsten Punkt und es wirkt $F_{\text{Resul}} > 0$ – also eine resultierende Kraft nach oben ... d.h. die V-P wird aus der Ruhe heraus nach oben beschleunigt.
- Solange $F_{\text{Resul}} > 0$ – wird die Person nach oben beschleunigt ... die F-Kurve steigt an und erreicht ihr relatives Maximum – hier im relativen Maximum ist F_{Resul} maximal ... d.h. die Beschleunigung nach oben ist maximal. Fällt die F-Kurve ab - liegt aber noch oberhalb der F_G -Linie ($F_{\text{Resul}} > 0$) erfolgt immer noch eine Beschleunigung nach oben ... allerdings mit abnehmendem Betrag.
- Fällt die F-Kurve weiter, dann schneidet sie die F_G -Linie – hier ist $F_{\text{Resul}} = 0$ – die Beschleunigung nach oben hört hier auf ... der Körper bewegt sich nun mit maximaler Geschwindigkeit nach oben ...
- Fällt die F-Kurve nun anschließend unter die F_G -Linie, dann ist $F_{\text{Resul}} < 0$... d.h. die V-P erfährt eine resultierende Kraft nach unten ... die Schwerkraft ist größer als die Reactio der Plattform ... d.h. die V-P, die sich in einer Aufwärtsbewegung befindet, wird in Ihrer Bewegung nach oben verzögert.
- Erreicht die Kurve die t-Achse, dann verschwindet die Reactio der Kraftplattform auf die V-P – d.h. die V-P verlässt die Kraftplattform in einer Bewegung nach oben ...

Antwort ... zu (V) → 2. Variante

1. $t=0$ Die Versuchs-Person steht auf der Conatex-Kraft-Plattform.
2. ① → Ausholbewegung ... das bedeutet eine Entlastung der Plattform ... die V-P geht in die Knie ... der Körperschwerpunkt wird nach unten beschleunigt.
 - Im tiefsten Punkt der Kurve im Abschnitt (1) ist die Beschleunigung des Körpers nach unten maximal.
3. $t=t_1$ → Der Schwerpunkt erreicht seine höchste Geschwindigkeit während der Abwärtsbewegung – Beschleunigung in dieser Phase = 0; die Kraftplattform wird mit der normalen Schwerkraft mg belastet.
4. ② → Die Abwärtsbewegung wird verzögert – das bedeutet eine zusätzliche Kraft nach unten – die Kraftplattform ist stärker belastet als mit mg .
5. $t=t_2$ → Der Schwerpunkt des Körpers erreicht seinen tiefsten Punkt – die Geschwindigkeit des Körperschwerpunkts ist in diesem Punkt 0 ... der Körper wird aber nach oben beschleunigt – aus der Ruhe heraus ...
 - die Fläche im Abschnitt (1) (zwischen der Kurve und der „Parallelen FG zur t-Achse“) gleich groß ist, wie die Fläche im Abschnitt (2) ... über diese Flächengleichheit kann man die Stelle t_2 ermitteln ... siehe unten.
6. ③ → Der Körper befindet sich in der Aufwärtsbewegung ... die beschleunigende Kraft wächst zunächst noch an, und wird dann immer kleiner ... bis
7. $t=t_3$ → Zu diesem Zeitpunkt verlassen die Füße die Kraftplattform
8. ④ → In dieser Phase befindet sich der Körper in der Luft
9. $t=t_4$ → Der Körper landet wieder auf der Kraftplattform
10. ⑤ → Die Kraft auf die Plattform steigt an ... erreicht den Wert mg ... und steigt dann weiter an, um den Körper abzubremesen ... fällt wieder ab ... es setzt ein Schwingung ein ... bis der Körper auf der Plattform zur Ruhe kommt.