

Vorlesung: Bewegungswissenschaftliche Grundlagen des Sports



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



INSTITUT FÜR
SPORT
WISSENSCHAFT

Kapitel 4: Bewegung – physikalisch betrachtet

Dozent: Prof. Dr. Josef Wiemeyer
Kontakt: josef.wiemeyer@tu-darmstadt.de

Überblick über Kapitel 4

- 4.1 Lernziele
- 4.2 Einstiegsfragen
- 4.3 Überblick
- 4.4 Grundbewegungsformen – „Freiheitsgrade“ –
- 4.5 Kinematische Beschreibungsgrößen
- 4.6 Dynamische Erklärungsgrößen
- 4.7 Biomechanische Messverfahren
- 4.8 Biomechanische Modelle
- 4.9 Biomechanische Prinzipien
- 4.10 Biomechanische Analyse – Vorgehen
- 4.11 Aufgaben
- 4.12 Literatur
- 4.13 Lösungen



Quelle: eBuT (2003)

Kapitel 4 – eLectures

Abschnitt/ Thema	eLecture
4.4 Grundbewegungen - „Freiheitsgrad“	1
4.5 Kinematische Kenngrößen (Beschreibung)	2
4.6 Dynamische Kenngrößen (Erklärung)	3
4.7 Messverfahren	4
4.8 Modell-Methode	5
4.9 Prinzipien	6
4.10 Vorgehen – Schema	7

4.1 Lernziele



- *Die verschiedenen biomechanischen Größen zur Beschreibung und Erklärung von Bewegungen im Sport nennen und erläutern können*
- *Die zentrale Bedeutung der biomechanischen Freiheitsgrade für das Verständnis von Bewegungskontrolle und Bewegungslernen erläutern können*
- *Die Bedeutung/Aussagekraft der biomechanischen Grundgrößen erläutern können*
- *Die verschiedenen biomechanischen Messverfahren nennen und hinsichtlich Aussagekraft und Anwendbarkeit diskutieren können*
- *Möglichkeiten und Grenzen der biomechanischen Prinzipien kritisch reflektieren können*

4.2 Einstiegsfragen



- *Welche Bewegungsmöglichkeiten hat der Mensch?
(Beispiele: 100-m-Sprint, Hochsprung, Diskus, Salto vorwärts)*
- *Wie kann man diese Bewegungsmöglichkeiten mechanisch beschreiben?*
- *Warum springt der eine Mensch weiter, höher oder läuft schneller als der andere?*
- *Warum ist es wesentlich leichter, einen Tischtennisball auf eine Geschwindigkeit von 10 Metern pro Sekunde zu beschleunigen als eine Kugel?*
- *Warum werfen wir einen Schlagball, stoßen aber eine Kugel?*
- *Welche Möglichkeiten haben wir, die Drehgeschwindigkeit beim Salto vorwärts zu beeinflussen?*
- *Warum benutzen wir im Sport Hilfsgeräte wie Schläger, Hochsprungstab oder Sprungbrett?*
- *Warum läuft man beim Sprung an oder holt beim Wurf aus?*

4.3 Überblick



4.4 Grundbewegungen - „Freiheitsgrad“

4.5 Kinematische Kenngrößen (☞ **Beschreibung**)

4.4.1 4.4.2 Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (Translation)

4.4.3 Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung (Rotation)

4.6 Dynamische Kenngrößen von Sportbewegungen (☞ **Erklärung**)

4.5.1 Masse, Kraft, Impuls (Translation)

4.5.2 Massenträgheitsmoment, Drehmoment, Drehimpuls (Rotation)

4.5.3 Arbeit, Energie und Leistung

4.7 Biomechanische Messverfahren im Überblick (☞ **Quantifizierung**)

4.6.1 Anthropometrie

4.6.2 Kinemetrie

4.6.3 Dynamografie

4.6.4 Elektromyografie

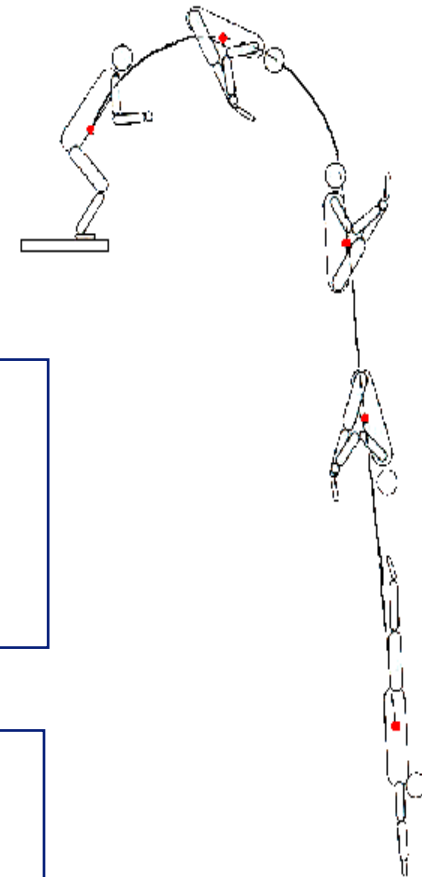
4.8 Biomechanische Modelle (☞ **Simulation**)

4.9 Biomechanische Prinzipien (☞ **Handlungsorientierung**)

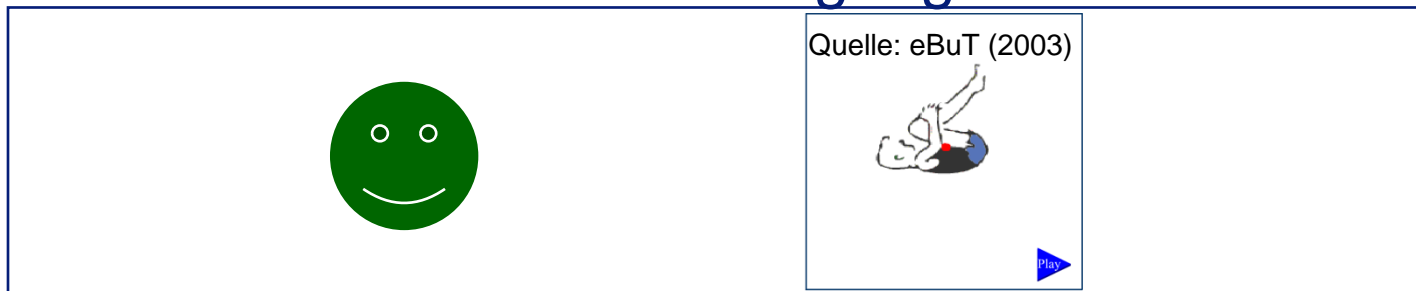
4.4. Grundbewegungen - Freiheitsgrade (1)

Beispiel: Basketball-Flug

Translation - fortschreitende Bewegung
entlang einer geradlinigen oder gekrümmten
Bewegungsbahn (Trajektorie)



Rotation - drehende Bewegung



Quelle: eBuT (2003)

4.4. Grundbewegungen - Freiheitsgrade (2)



„Freiheitsgrad“ - unabhängige Bewegungsmöglichkeit eines Körpers (vgl. Donskoi, 1975)

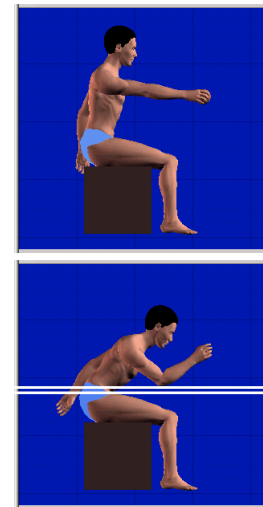
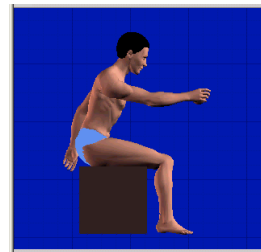
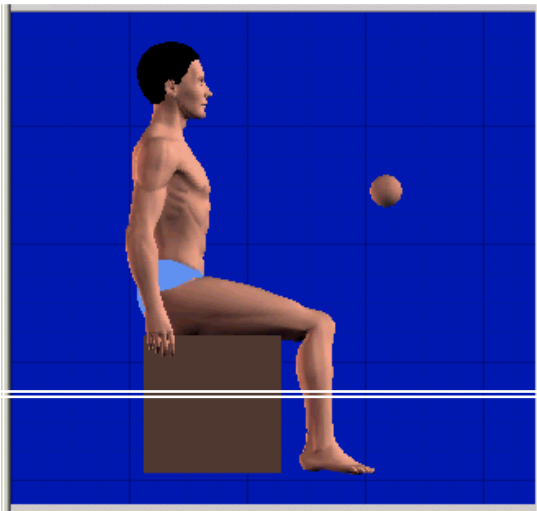
- frei beweglicher Körper: je drei translatorische und rotatorische Freiheitsgrade
- Gelenke: ein bis drei rotatorische Freiheitsgrade

Aufgaben:

1. Ordnen Sie den verschiedenen Gelenktypen die jeweils möglichen Freiheitsgrade zu!
2. Wie viele Freiheitsgrade hat der Körper insgesamt?
3. Welche Art von Freiheitsgraden ist noch zu berücksichtigen?

4.4. Grundbewegungen - Freiheitsgrade (3)

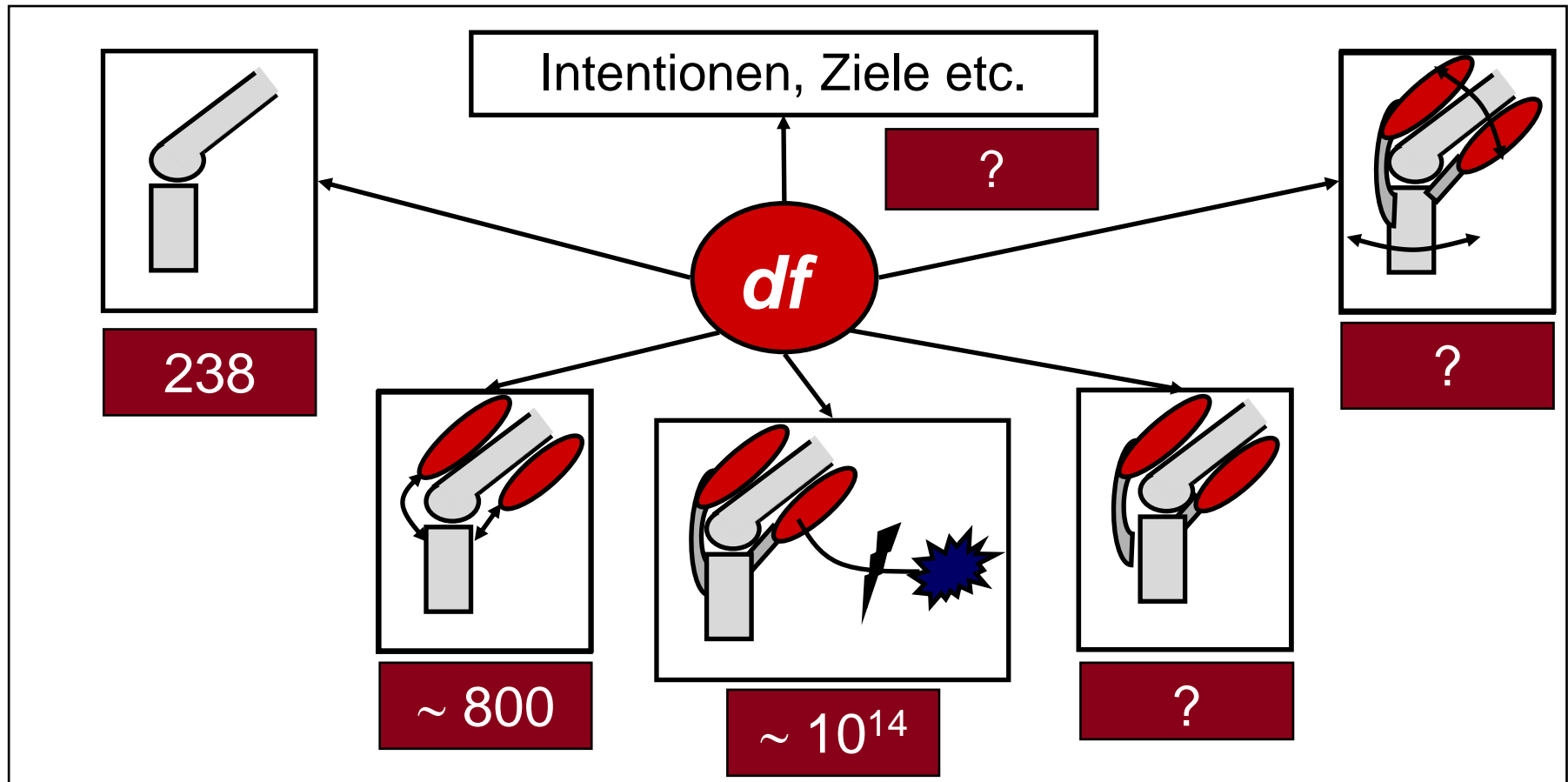
- Menschlicher Organismus: 238 Gelenk-Freiheitsgrade!



- Wie kontrolliert der Organismus seine vielfältigen Freiheitsgrade?
BERNSTEIN- oder Freiheitsgrad-Problem (s. Kapitel 5!)
- Wie erwirbt der Organismus im Laufe von Entwicklungs- und Lernprozessen die Kontrolle über die Freiheitsgrade?
Koordinationshypothese von BERNSTEIN (s. Kapitel 4!)

4.4. Grundbewegungen - Freiheitsgrade (4)

Welche Arten von *Freiheitsgraden (df)* gibt es?



Ende Kapitel 4 – Teil 1



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)





- **Wo stehen wir?**

Freiheitsgrade

- **Lernziele:**

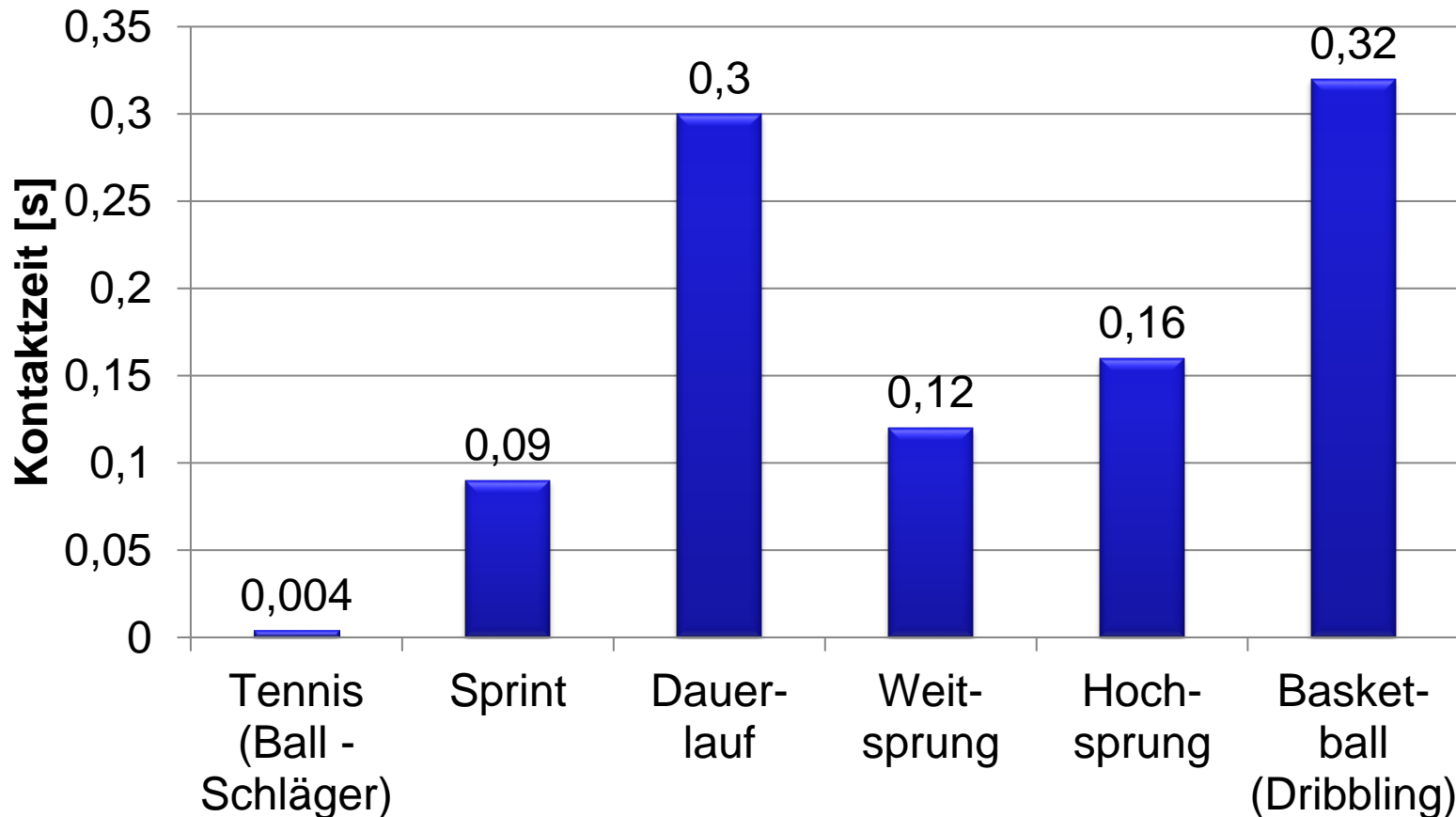
- Die kinematischen Beschreibungsgrößen von Translation und Rotation nennen und erläutern können

4.5.1 Kinematik - Länge, Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (1)

Größe	Symbol	Formel	Einheit
Länge, Weg	\vec{l} , \vec{x} , \vec{s}		Meter (m)
Zeit	t		Sekunden (s)
Geschwindigkeit	\vec{v}	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Meter / Sekunde (m/s)
Beschleunigung	\vec{a}	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Meter / Sekunde ² (m/s ²)

4.5.1 Kinematik - Länge, Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (2)

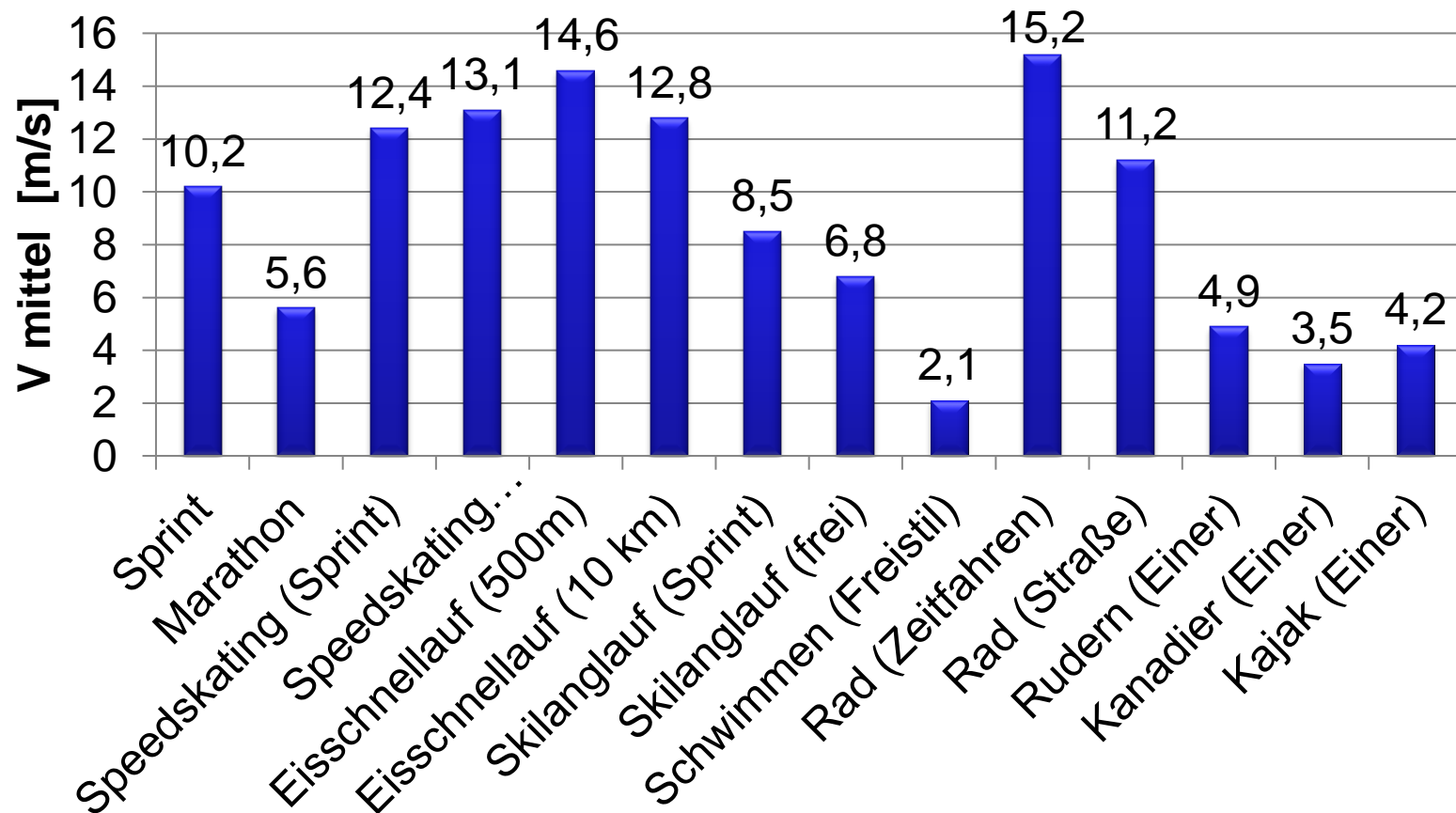
Kinematische Kennwerte - Kontaktzeiten



Frage: Welche Gesetzmäßigkeiten sind zu erkennen?

4.5.1 Kinematik - Länge, Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (3)

Kinematische Kennwerte - Mittlere Geschwindigkeiten



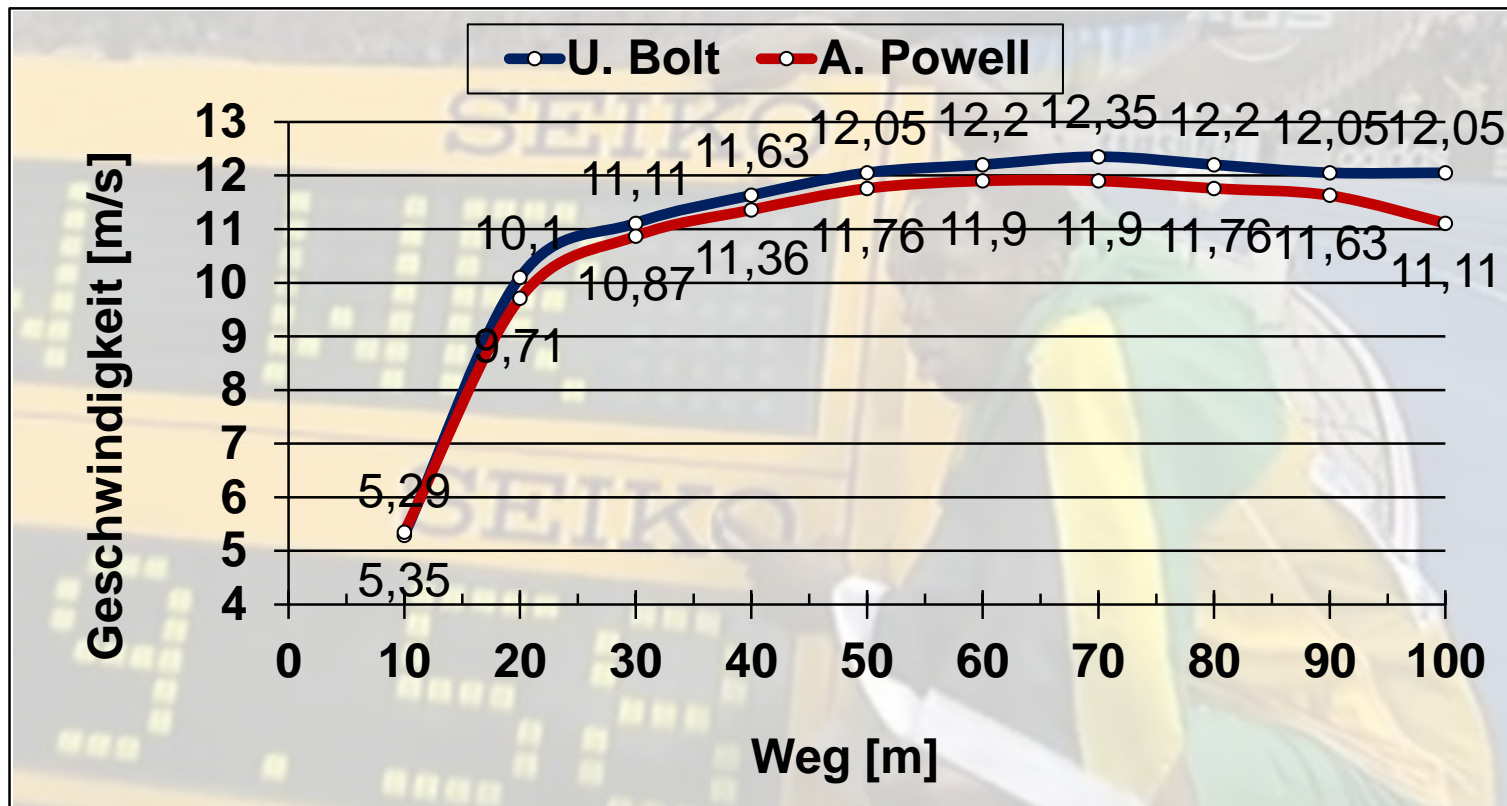
Frage: Welche Gesetzmäßigkeiten sind zu erkennen?

4.5.1 Kinematik - Länge, Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Laufgeschwindigkeiten beim 100-m-Sprint –
Usain Bolt (9,58s) vs. Asafa Powell (9,84s; Quelle: IAAF, 2009)

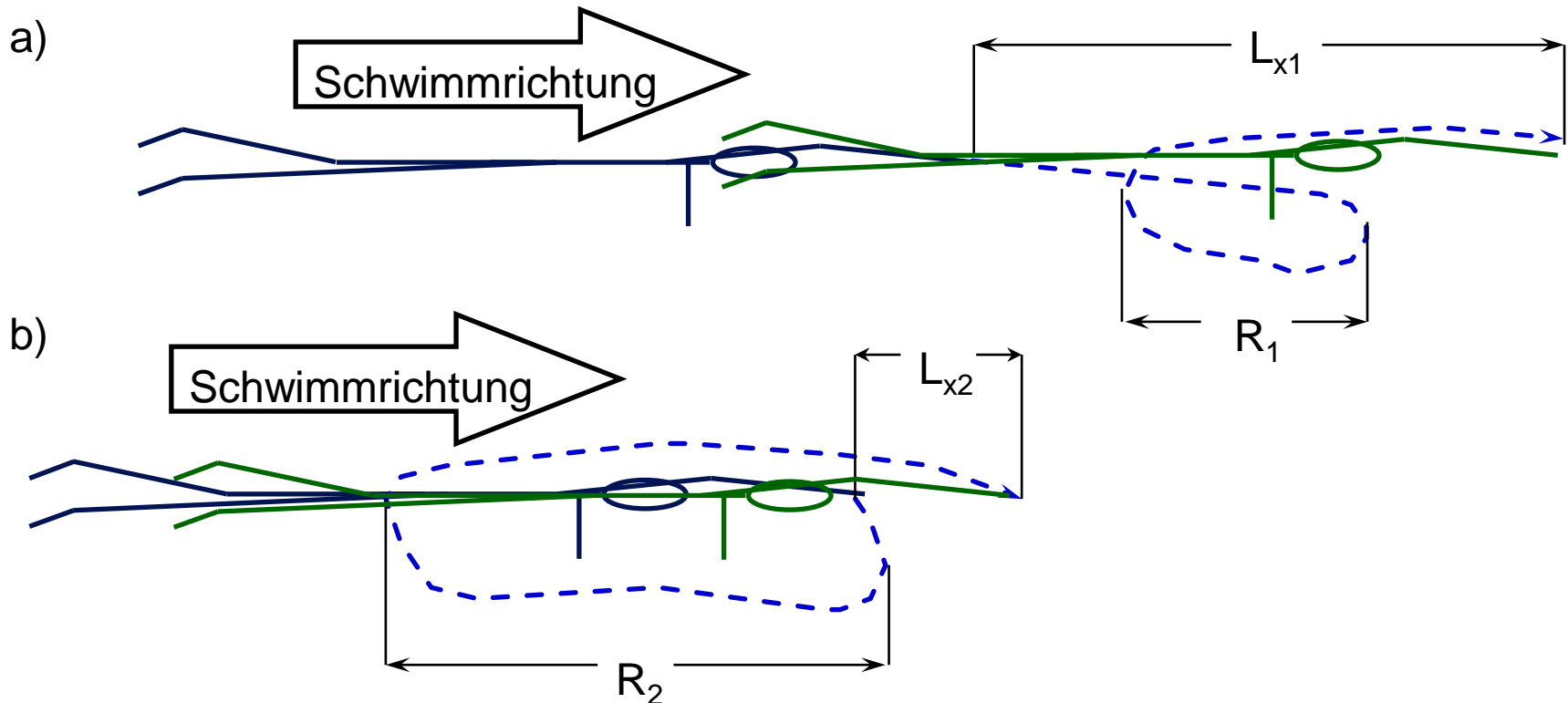


Frage: Wie kann man die Kurven unterteilen?

4.5.1 Kinematik - Länge, Weg, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung (6)

Technikunterschiede beim Kraulschwimmen

Indikatoren: **Zykluslänge (L_x)** und **sagittaler Schlupf (R)**
(nach Reischle, 1988, S.137)



Frage: Welcher Schwimmer hat die bessere Technik?

4.5.2 Kinematik - Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung (1)

Größe	Symbol	Formel	Einheit
Winkel	$\vec{\varphi}, \vec{\theta}$		°, rad
Winkelgeschwindigkeit	$\vec{\omega}$	$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$	°/s, rad/s
Winkelbeschleunigung	$\vec{\alpha}$	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	°/s ² , rad/s ²

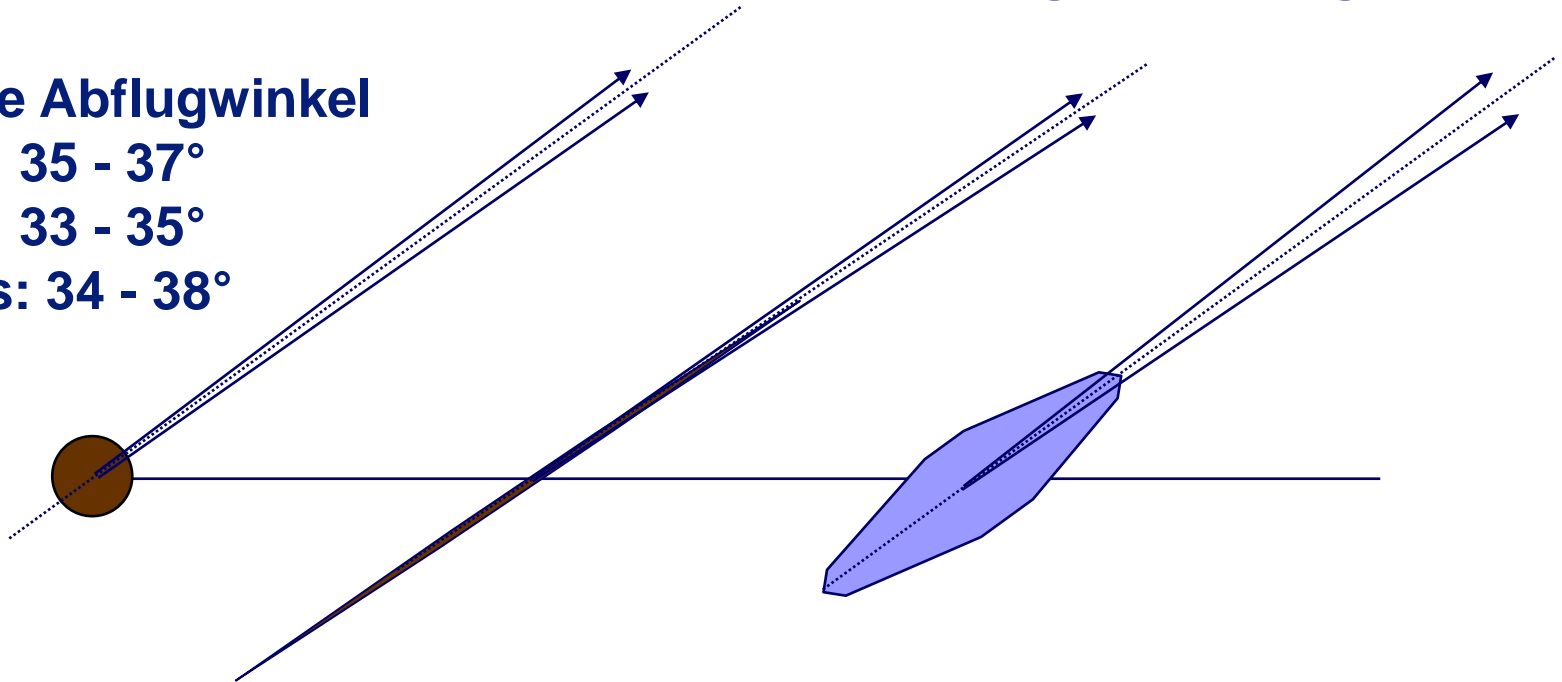


4.5.2 Kinematik - Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung (2)

Kinematische Kennwerte - Winkel und Winkelgeschwindigkeiten

Typische Abflugwinkel

- Kugel: 35 - 37°
- Speer: 33 - 35°
- Diskus: 34 - 38°



Weitere Abflugwinkel

- Weitsprung: 18 - 20°
- Hürdenschritt: 19°
- Hochsprung: 55°

Frage: Welcher Abwurf-/
Abflugwinkel ist **optimal**?

4.5.2 Kinematik - Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung (3)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kinematische Kennwerte - Winkel und Winkelgeschwindigkeiten

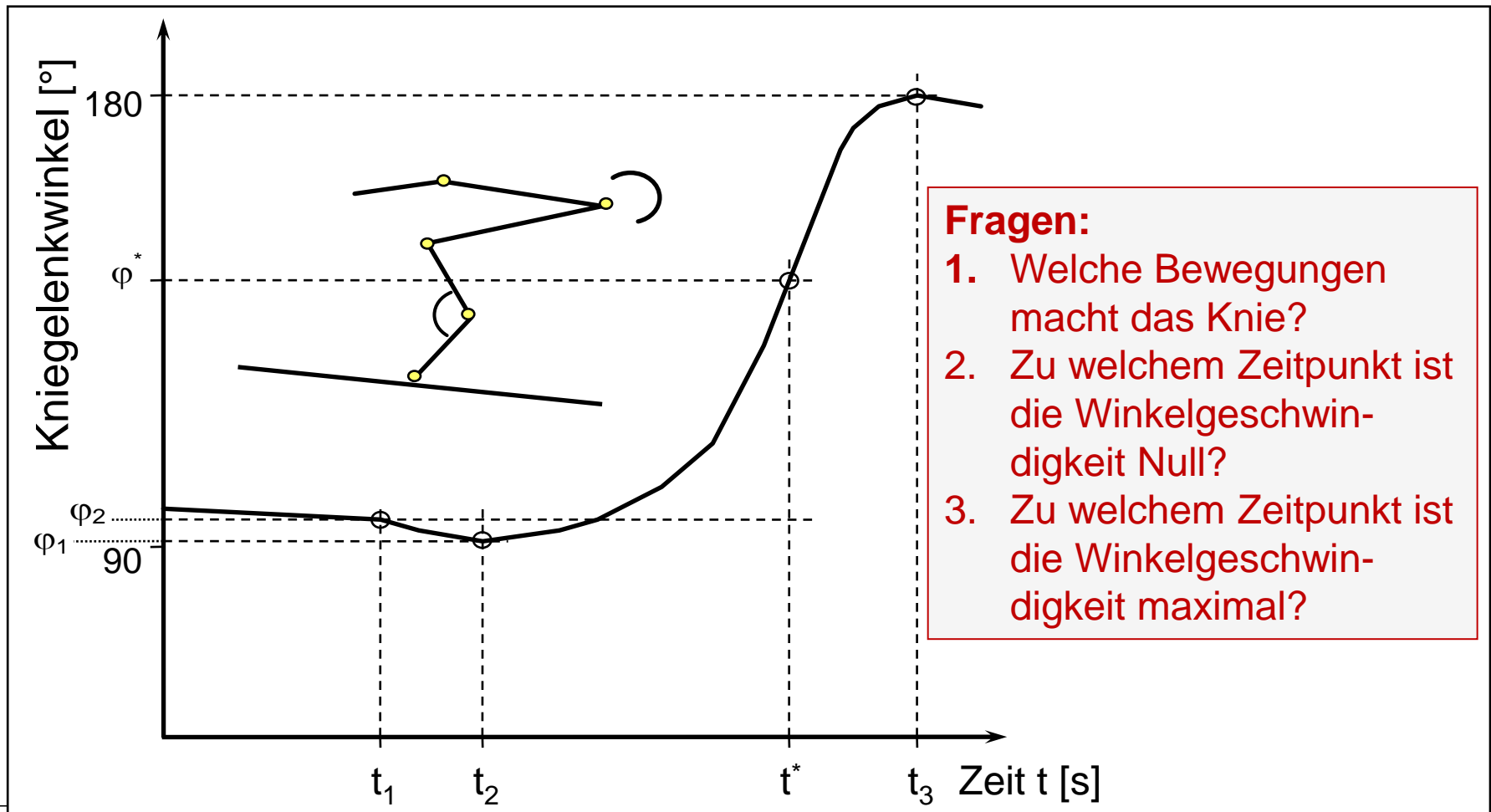
(Quellen: Preiß, 1996, S.63; von Laßberg, 2007, S.35)

Bewegung

	ω [rad/s]	ω [°/s]	ω [U/s]
Kniestreckung (Weitsprung)	14	802	2.2
Salto vw (Wasserspringen, Turnen)	22	1300	3.6
Salto rw (Trampolin)	28	1600	4.4
Doppelaxel (Eiskunstlauf)	28	1604	4.5
4-fach Salchow (Eiskunstlauf)	36	2100	5.8
Diskusdrehung	38,5	2206	6.1

4.5.2 Kinematik – Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung (4)

Kniegelenkwinkelverlauf beim Skispringen (nach Baumann, 1989, S.33)



Ende Kapitel 4 – Teil 2



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Kinematik – Translation (x/s , v , a); Rotation (φ , ω , α)

- **Lernziele:**

- Dynamische Erklärungsgrößen von Translation und Rotation nennen und erläutern können

4.6 Dynamische Kenngrößen von Sportbewegungen

Kernansatz: Frage nach den **Ursachen** der Bewegung (Kausalität)

4.6.1 Masse, Körperschwerpunkt, Kraft, Impuls (Translation)

Größe	Symbol	Formel	Einheit
Masse	m		Kilogramm (kg)
Kraft	\vec{F}	$F = m \cdot a$	Newton (N)
Impuls	\vec{p}	$p = \int F(t)dt$ $p = m \cdot v$	Newton · Sekunde (Ns)
Kraftstoß	$\Delta\vec{p}$	$\Delta p^{\rightarrow} = \int F(t)dt$	Newton · Sekunde (Ns)

Impulserhaltungssatz: $p = \text{const}$, wenn $F = 0$

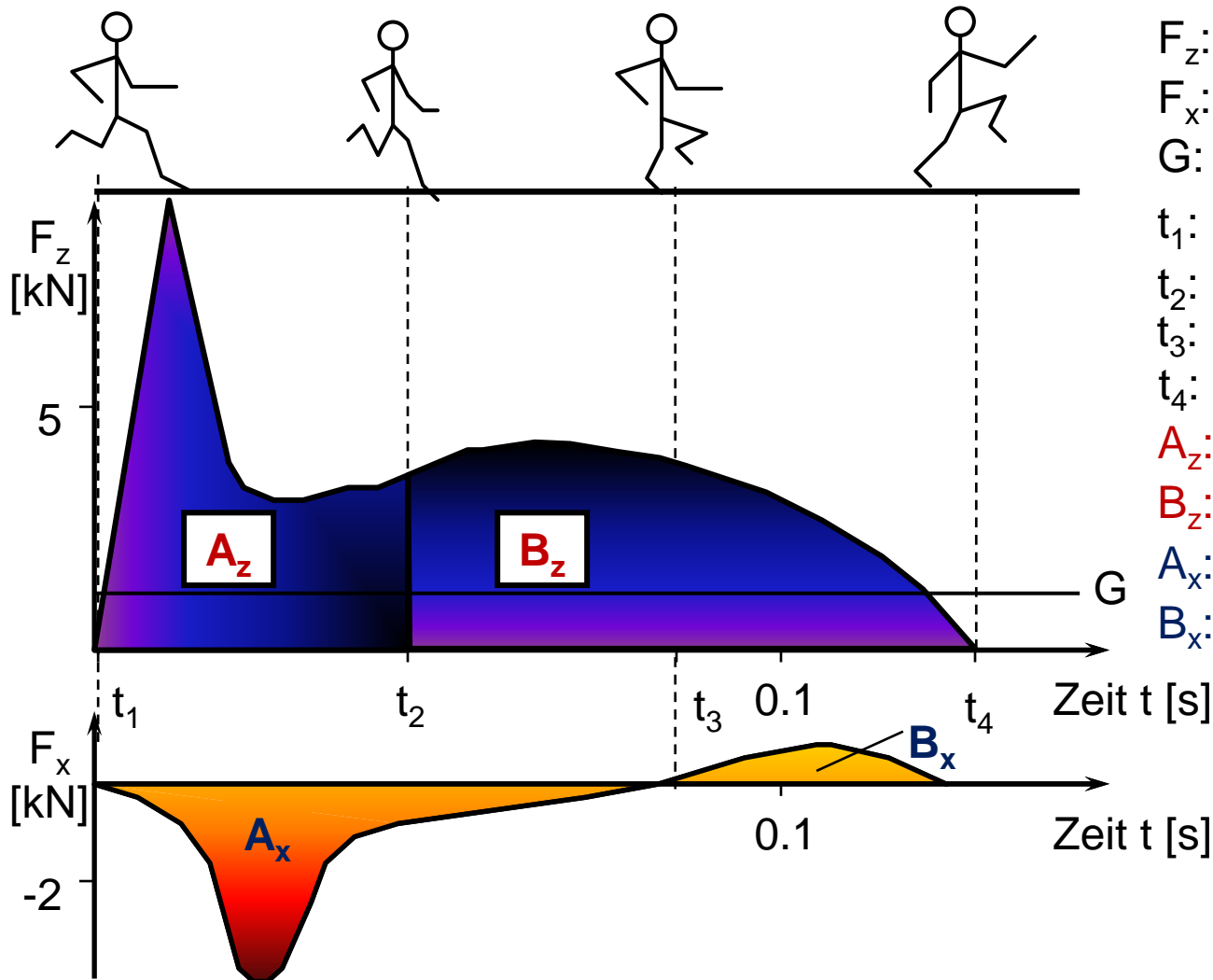
Beispiel: Absprung

4.6.1 Beispiel: Kraftverlauf beim Weitsprung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

(nach Ballreich & Brüggemann, 1986, zitiert nach Willimczik, 1989, S.171)



F_z : vertikale Absprungkraft

F_x : horizontale Absprungkr.

G: Gewichtskraft

t_1 : Beginn des Absprungs

t_2 : Ende d. vert. Bremsvorg.

t_3 : Ende d. hor. Bremsvorg.

t_4 : Ende des Absprungs

A_z : vertikaler Bremsstoß

B_z : vert. Beschleunigungsst.

A_x : horizontaler Bremsstoß

B_x : hor. Beschleunigungsst.

Frage: Wann
bewegt sich der
Springer wohin
(z-,x-Richtung)?

4.6.2 Massenträgheitsmoment, Drehmoment, Drehimpuls (Rotation) (1)

Größe	Symbol	Formel	Einheit
Massenträgheitsmoment	I	$I = \sum m_i \cdot r_i^2$	Kilogramm · Meter ² (kg m ²)
Drehmoment	\vec{M}	$M = F \cdot d$ $M = I \cdot \alpha$	Newton · Meter (Nm)
Drehimpuls	\vec{L}	$L = \int M(t) dt$ $L = I \cdot \omega$	Newton · Meter · Sekunde (Nms)
Drehmomentstoß	$\Delta \vec{L}$	$\Delta L = \int M(t) dt$	Newton · Meter · Sekunde (Nms)

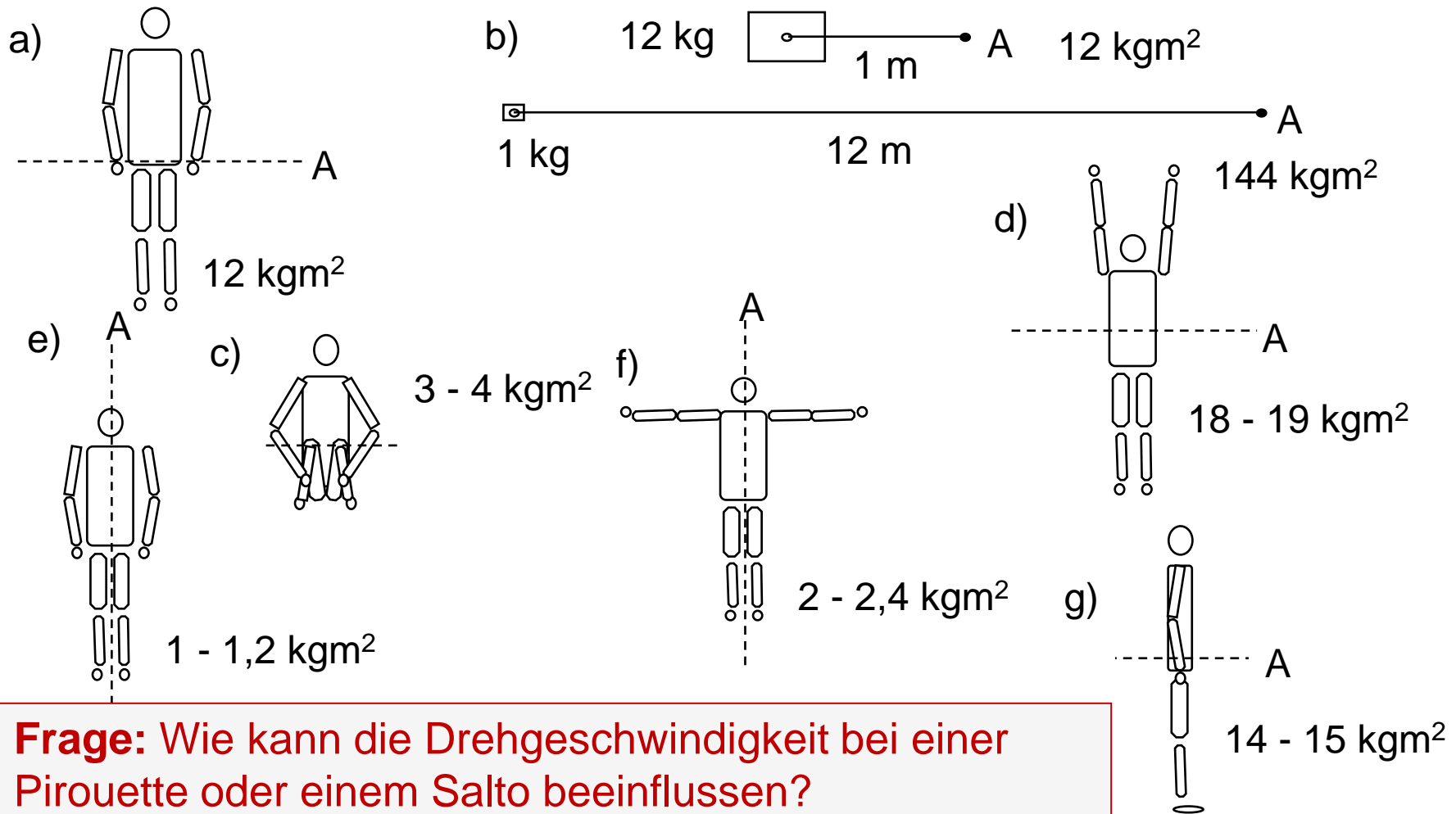
Drehimpulserhaltungssatz: $L = \text{const}$, wenn $M = 0$



Beispiel: Massenträgheitsmomente des menschlichen Körpers in verschiedenen Stellungen

4.6.2 Beispiele: Massenträgheitsmomente

nach Kassat (1993, S.113)



Frage: Wie kann die Drehgeschwindigkeit bei einer Pirouette oder einem Salto beeinflussen?

4.6.3 Arbeit, Energie, Leistung (1)



Größe	Symbol	Formel	Einheit
Arbeit (Heben, Beschleunigen, Verformen)	W	$W = F \cdot s$	Newtonmeter (Nm)
Potentielle Energie	E_{pot}	$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$	Newtonmeter (Nm)
Kinetische Energie	E_{kin}	$E_{trans} = \frac{m}{2} \cdot v^2$ $E_{rot} = \frac{I}{2} \cdot \omega^2$	Newtonmeter (Nm)
Deformations-energie	E_{def}	$E_{def} = \frac{D}{2} \cdot s^2$	Newtonmeter (Nm)
Leistung	P	$P = \frac{W}{t} = F \cdot v$	Newtonmeter pro Sekunde (Nm/s)

Energieerhaltungssatz: $E_{gesamt} = \text{const}$

Beispiel: Trampolinspringen - Kassat (1993, S.167)

4.6.3 Arbeit, Energie, Leistung (2)

Beispiele für die kinetische Energie bei Sportbewegungen

Disziplin	v_0 [m/s]	m [kg]	$E_{kin} = m/2 \cdot v^2$ [Nm]
Hochsprung	6	70	1260
Weitsprung	9	70	2835
Kugel	14	7,25	711
Diskus	24	2	576
Speer	30	0,8	360
Schmetterschlag (VB)	30	0,27	122
Stoß (FB)	33	0,3	163
Smash (Badminton)	70	0,005	12
Aufschlag (Tennis)	69	0,0574	138

4.6.3 Arbeit, Energie, Leistung (3)



Aufgaben:

1. Wieviel Kraft muss man aufwenden, wenn man einen Schüler von 30kg auf einer Strecke von 20cm abbremsen will, der mit einer Geschwindigkeit von 8 m/s anfliegt?
2. Mit welcher Geschwindigkeit landet ein Kind nach einem Sprung aus 5m Höhe im Wasser?
3. Worin besteht der energetische Unterschied beim Sprung vom Reuther-Brett im Vergleich zum Minitrampolin?
4. Wieviel Beschleunigungsarbeit muss man verrichten, wenn man einen Körper von 1 auf 2 m/s bzw. von 10 auf 11m/s beschleunigen will?
5. Könnte es im menschlichen Körper auch Strukturen geben, die im Sinne der drei mechanischen Arbeitsformen „mitarbeiten“?
6. Wie kann man die Gesamtenergie des menschlichen Körpersystems berechnen?
7. Wie kann man aufgrund der Flugzeit berechnen, wie hoch jemand gesprungen ist?

Ende Kapitel 4 – Teil 3



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Dynamische Erklärungsgrößen von

(1) Translation: F , p ; W , E , P

(2) Rotation: M , L ; W , E , P

- **Lernziele:**

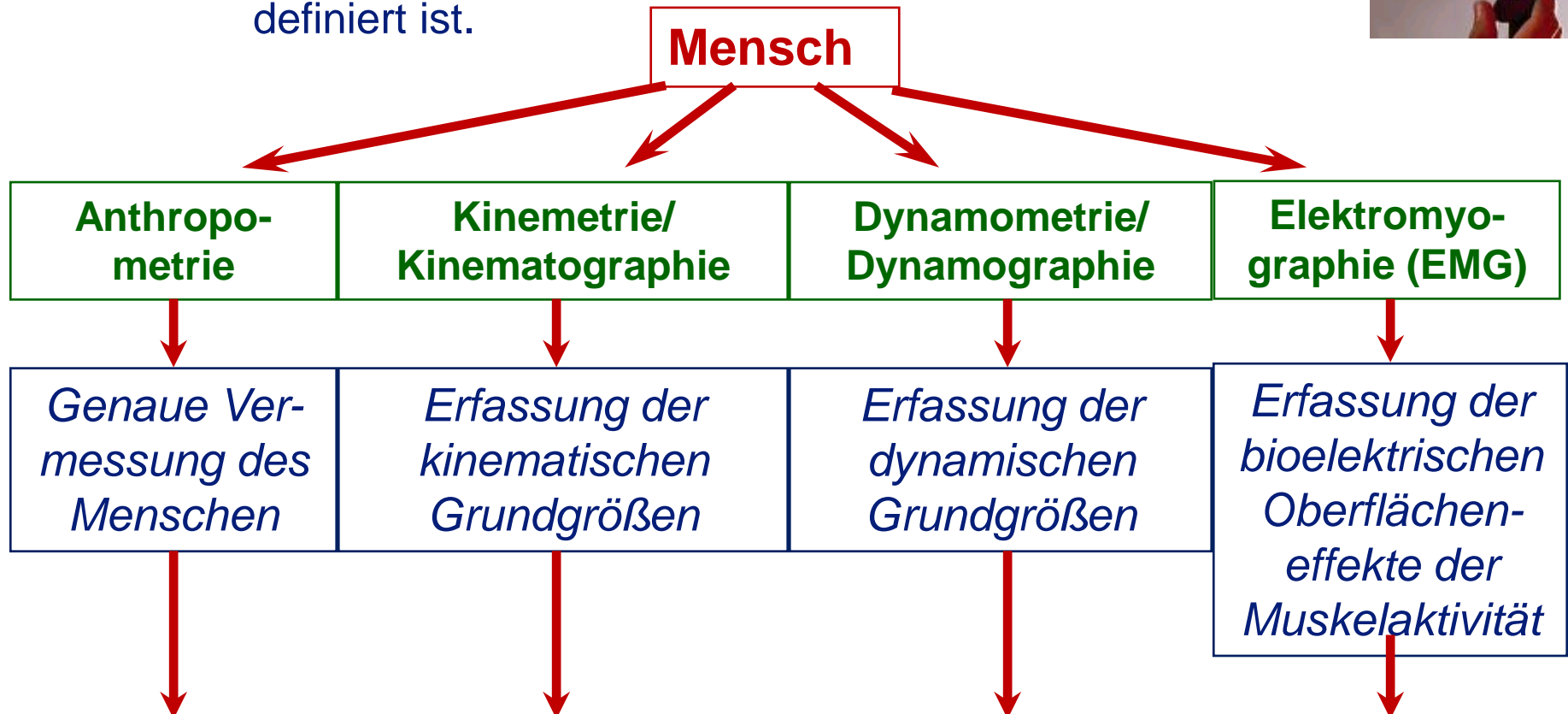
- Biomechanische Messverfahren nennen und beschreiben können
- Gütekriterien biomechanischer Messverfahren nennen und erläutern können

4.7 Biomechanische Messverfahren (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

„Messen“ - Zahlenmäßiger Vergleich einer unbekannten, zu bestimmenden Größe mit einer bekannten Größe gleicher Art, die durch ein Normal (Vergleichsmaßstab) definiert ist.



4.7 Biomechanische Messverfahren (2)



Anthropometrie	Kinemetrie/ Kinematographie	Dynamometrie/ Dynamographie	Elektromyo- graphie (EMG)
<ul style="list-style-type: none"> • Größe, Gewicht, Körperbau • Teilmassen der Segmente → KSP • Lage der Segment-schwerpunkte → I des Gesamtkörpers 	<ul style="list-style-type: none"> • x, v, a • φ, ω, α <p>Direkte und indirekte Verfahren</p> <p>Beispiele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mess-Demo • Winkelmessung 	<ul style="list-style-type: none"> • $F, p, \Delta p$ • $M, L, \Delta L$ • Energie (E), Arbeit (W), Leistung (P) <p>Wichtigstes Prinzip: Piezo-Effekt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivierungsbeginn, -ende • Innervationsintensität (?)

Berechnung von
biodynamischen Größen

Inverse
Dynamik

4.7 Biomechanische Messverfahren (3)

Gütekriterien biomechanischer Messungen

- **Messfehler - Messgenauigkeit (Raum - Zeit - Masse):**
 - vielfältige Ursachen
 - „Theorie des wahren Wertes“
 - zufällig - systematisch - grob
 - statisch - dynamisch
- Grad der **Rückwirkung** (physisch, psychisch)
- **Zeitpunkt** der Information
(Sofort-, Schnell-Information)
- **Mobilität/ Feldtauglichkeit**
(z.B. Telemetrie)
- **personeller/ materieller Aufwand**
(Baumann & Preiß, 1996, S.76-79)

Ende Kapitel 4 – Teil 4



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Messverfahren (Anthropometrie, Kinemetrie, Dynamometrie, Elektromyographie)

Gütekriterien – Messfehler

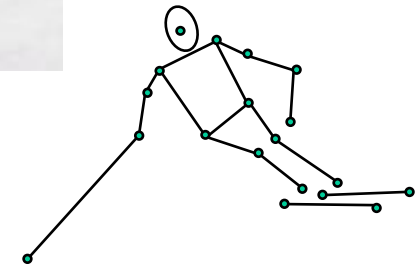
- **Lernziele:**

- Modell-Begriff definieren können
- Vorgehen der Modell-Methode erläutern können

4.8 Biomechanische Modelle

„Modell“:

- **Abbildung** Original → Bild
- **Merkmale:**
 - Verkürzung
 - Pragmatik (Nutzer, Modellzweck)
 - Abundanz
- **Arten:**
 - Physikalisch
 - Mathematisch: deterministisch, probabilistisch



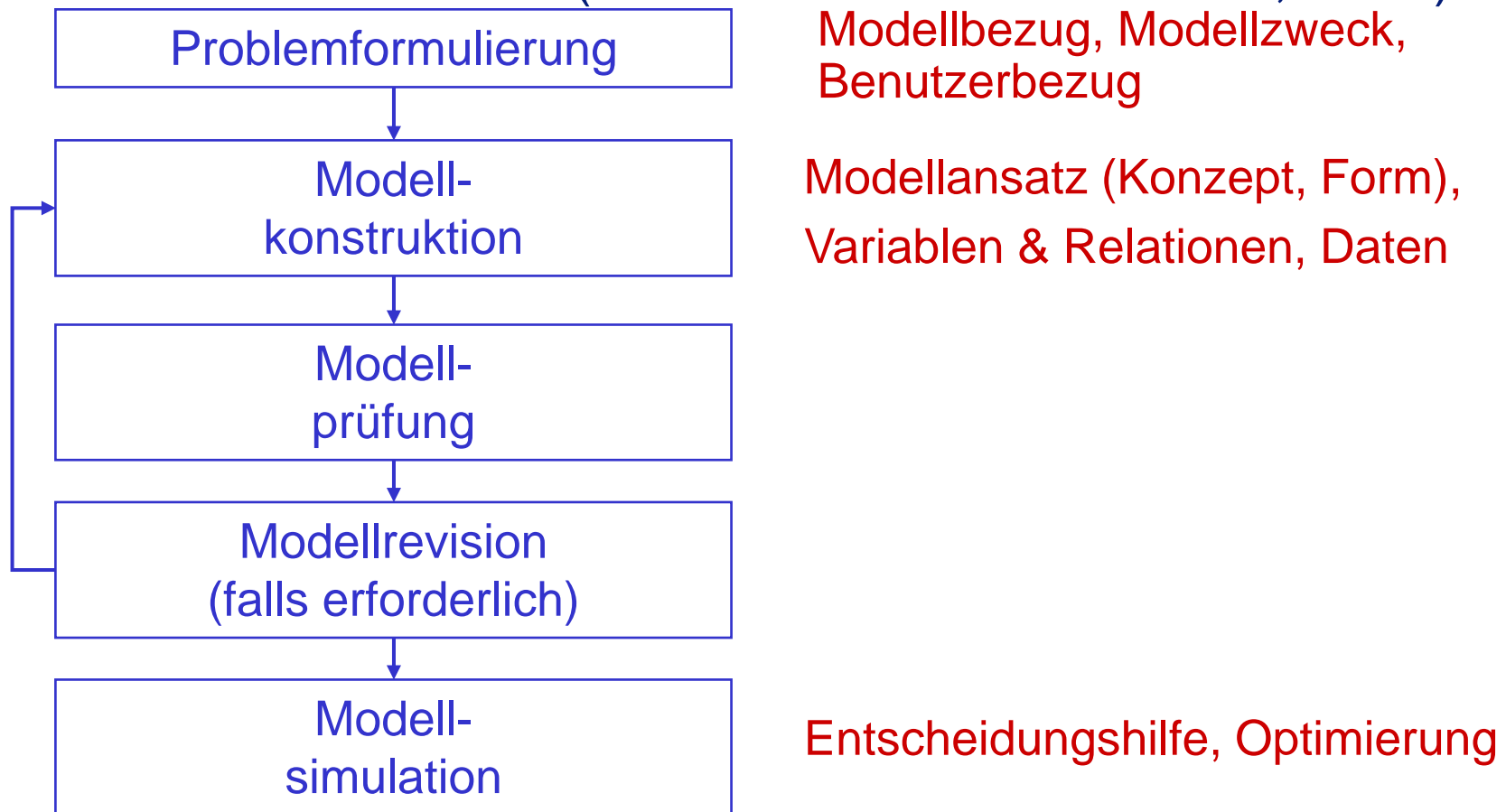
Fragen:

1. Warum arbeitet man überhaupt mit Modellen, wenn man dabei Verkürzungen „in Kauf nehmen“ muss?
2. Lassen sich an Modellen gewonnene Erkenntnisse direkt auf das Original rück-übertragen?

4.8 Biomechanische Modelle

Biomechanische Modellierung –

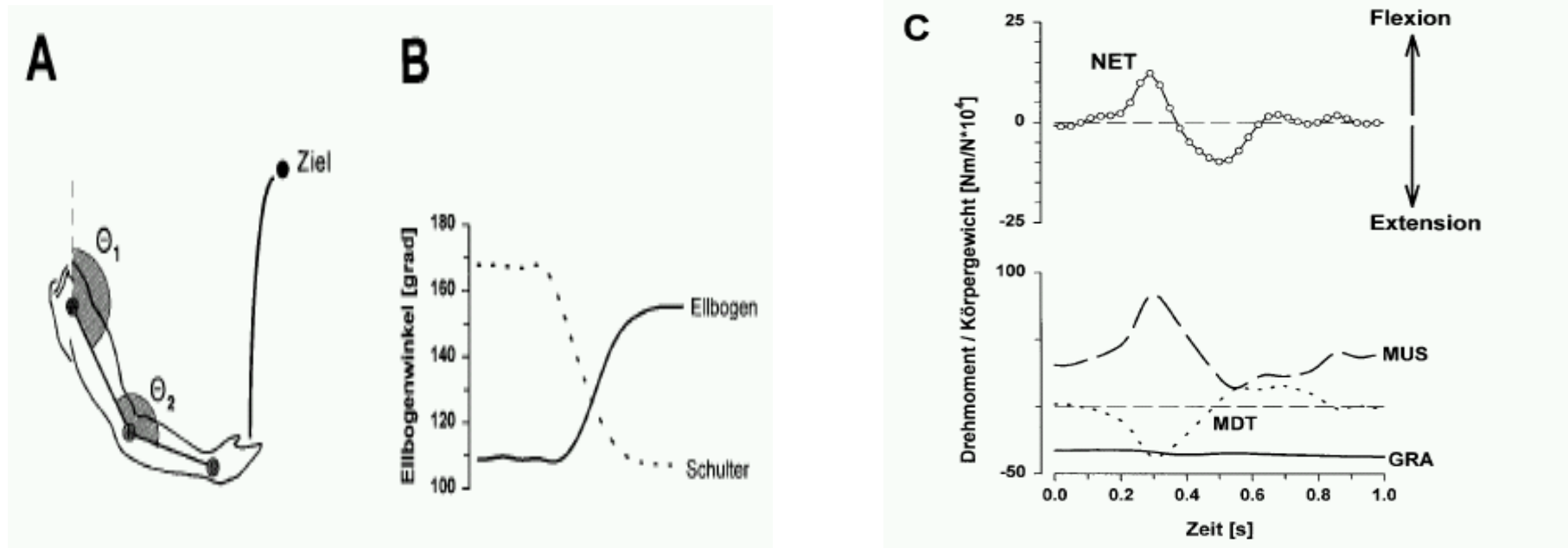
Arbeitsschritte (nach Ballreich & Baumann, 1996)



4.8 Biomechanische Modelle

Beispiel: Inverse Dynamik – Reichbewegung (Konczak, 1997)

Grundgleichung: $NET = GRA + MUS + MDT$



4.8 Biomechanische Modelle

Beispiel: Kippe am Reck (Bächle, 2004)

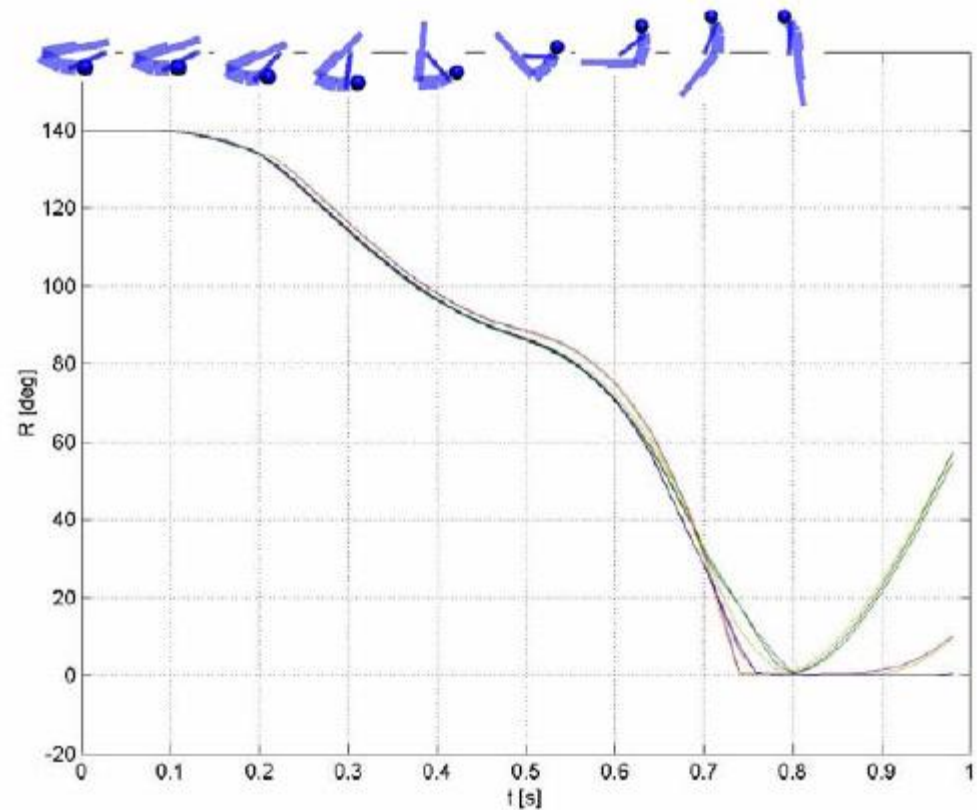
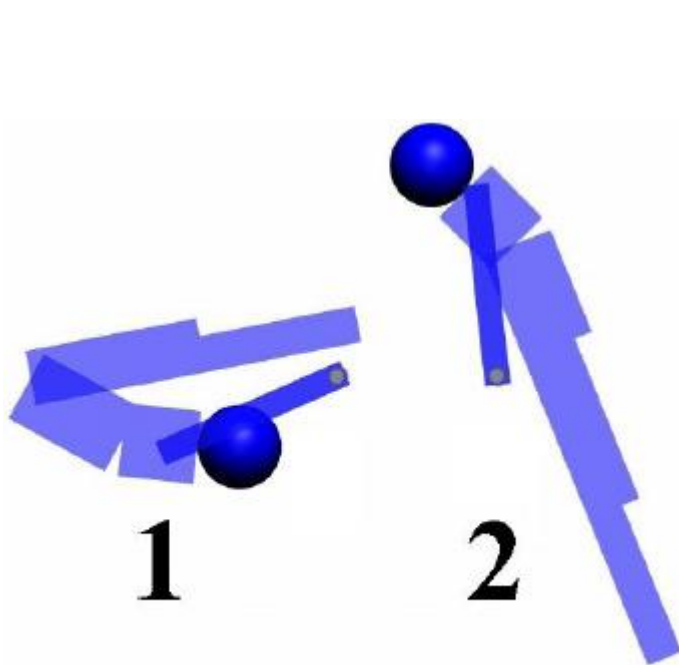


Abb. Hüftwinkelverläufe (0° - Streckung)

4.8 Biomechanische Modelle

Beispiel: Kippe am Reck (Bächle, 2004)

		Maximale Höhe der Stützpunkte für das Schultermoment $T_{\max S} = [Nm]$			
		± 30	± 60	± 90	± 120
Maximale Höhe der Stützpunkte für das Hüftmoment $T_{\max H} = [Nm]$	± 0	0	0	74	43
	± 60	0	1	64	70
	± 120	0	14	6	-

Tabelle 2: Anzahl der gefunden Lösungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Schulter und Hüftmomenten (zum Beispiel gibt es sechs Lösungen bei ± 90 Nm Schulter- und ± 120 Nm Hüftmoment).

Ende Kapitel 4 – Teil 5

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Modell – Definition; Modell-Methode

- **Lernziele:**

- (Biomechanisches) Prinzip definieren können
- Ausgewählte biomechanische Prinzipien erläutern können
- Überblick über biomechanische Prinzipien geben können

4.9 Biomechanische Prinzipien (1)



- URL: <http://bioprinz.ifs-tud.de>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

„Prinzip“:

„Allgemeiner Grundsatz, der auf der Grundlage von Gesetzmäßigkeiten und wesentlichen Eigenschaften der objektiven Realität beruht und dem Menschen in der theoretischen wie in der praktischen Tätigkeit als Handlungsorientierung dient“ (Schnabel & Thiess, 1993, S.637).

„Kompromiss zwischen Universalgesetz und Einzelfall“

Biomechanisches Prinzip:

„Allgemeiner Grundsatz der Handlungsorientierung für bio-mechanisch zweckmäßige Lösungen von Bewegungsaufgaben innerhalb einer biomechanisch gleichartigen Klasse (mechanisch darstellbares Ziel/mechanische Bedingungen) von Bewegungsaufgaben“ (Schnabel & Thiess, 1993, S.637).

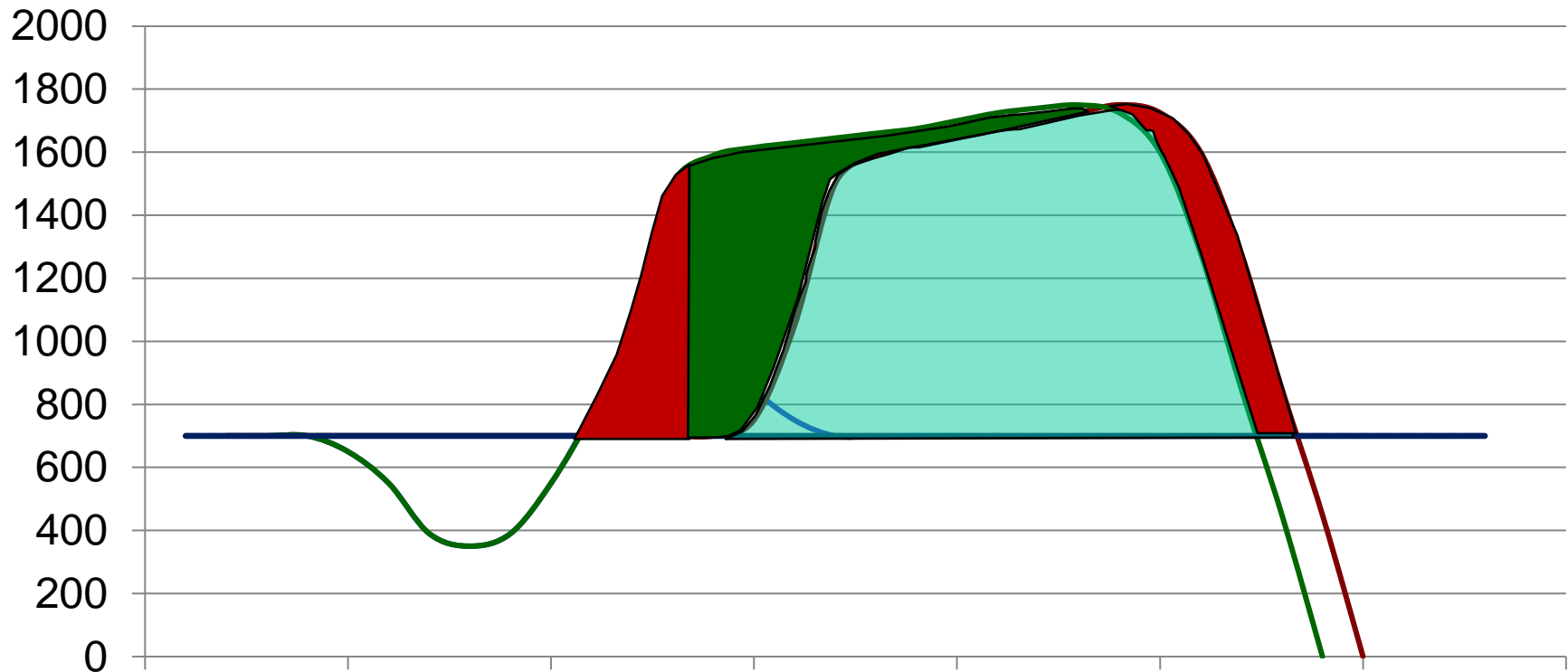
4.9 Biomechanische Prinzipien (2)

 - URL: <http://bioprinz.ifs-tud.de>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prinzip der Anfangskraft (1)



4.9 Biomechanische Prinzipien (3)



- URL: <http://bioprinz.ifs-tud.de>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prinzip der Anfangskraft (2):

Eine Körperbewegung, mit der eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll ..., 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. Das Verhältnis von Brems- zu Beschleunigungsstoß muß dabei optimal sein. (Hochmuth, 1967, S. 192)

$$\kappa = \frac{\text{Bremsstoß}}{\text{Beschleunigungsstoß}} \approx 0,3 - 0,4$$

Fragen:

1. Welcher physiologische Mechanismus steckt hinter diesem Prinzip?
2. Welche Energieformen spielen hier eine Rolle?

4.9 Biomechanische Prinzipien (4)



- URL: <http://bioprinz.ifs-tud.de>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges:

Bei einer Körperbewegung, mit der eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll, ist unter den spezifischen Bedingungen der einzelnen Sportdisziplin und bei dem vorhandenen Muskelkraftniveau und Koordinationsvermögen ein optimal langer Beschleunigungsweg auszunutzen. Die Länge des optimal ausnutzbaren Beschleunigungsweges ist von der Größe des Bremsstoßes im Verhältnis zum Beschleunigungsstoß abhängig. Mit Zunahme des Bremsstoßes wird der optimale Beschleunigungsweg geringer.

Der geometrische Verlauf des Beschleunigungsweges ... soll geradlinig oder stetig gekrümmt und nicht wellenförmig sein. Durch rotatorische Beschleunigung ... kann der Beschleunigungsweg vergrößert werden. (Hochmuth. 1967. S. 197f.)

Fragen:

1. Was bedeutet dieses Prinzip z.B. für die altersspezifische Vermittlung des Weitsprungs oder des Kugelstoßens?
2. Welche Kugelstoßtechnik ist besser: Angleit- oder Rotationstechnik?

4.9 Biomechanische Prinzipien (5)

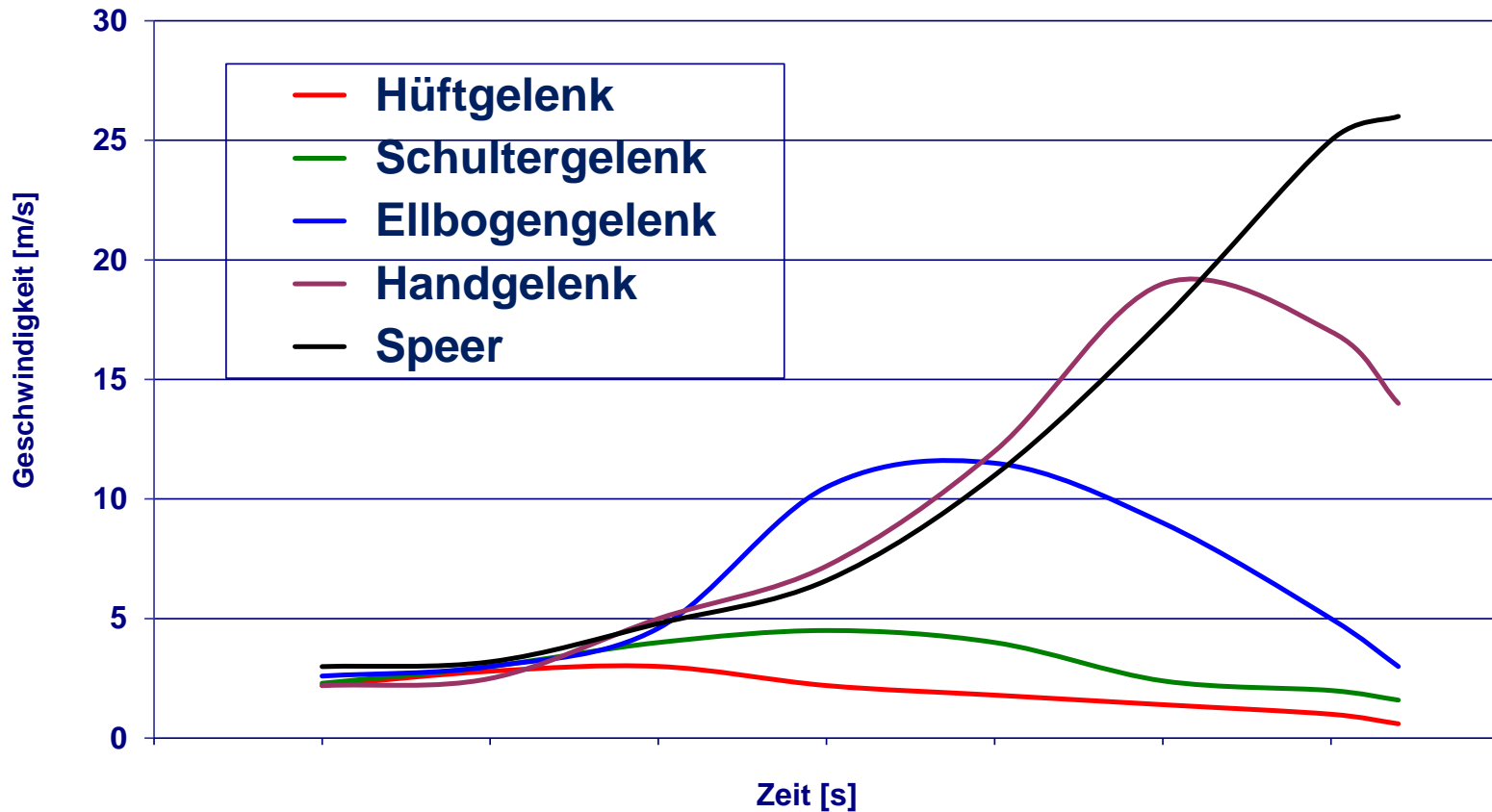


- URL: <http://bioprinz.ifs-tud.de>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prinzip der Koordination von Teilimpulsen (1) Beispiel: Speerwurf (🏹 - 🏹)



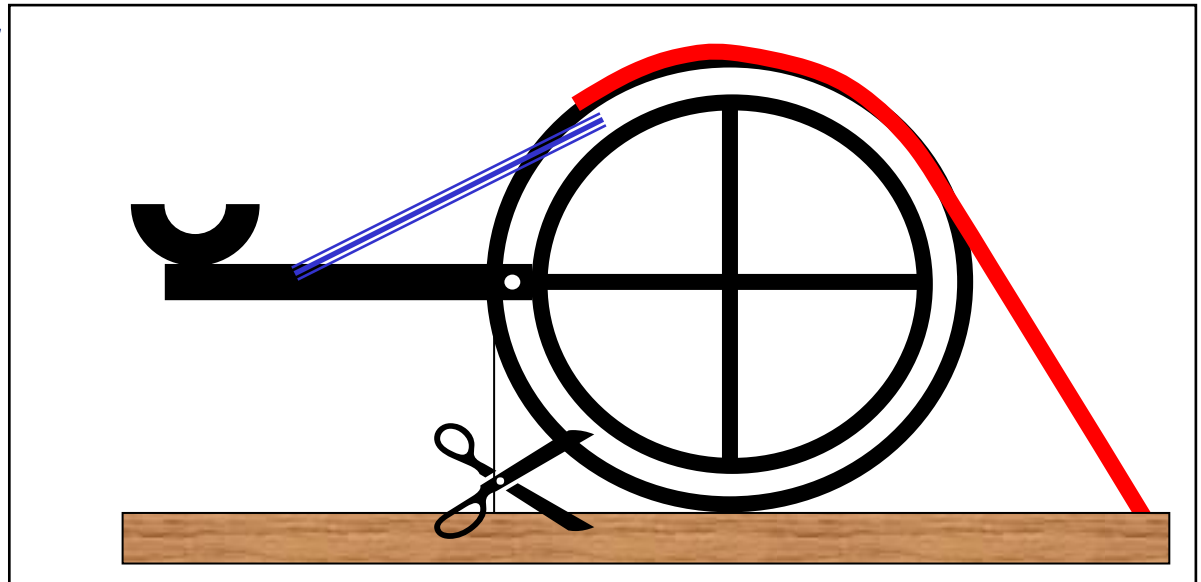
4.9 Biomechanische Prinzipien (6)

Prinzip der Koordination von Teilimpulsen (2):

- 1967: *Gleichzeitigkeit der Impulse*
- 1982: *Nacheinander der Impulse*
- *Begründung: Impulsübertragung durch Abbremsen*

(vgl. Hochmuth, 1982, vgl. auch Roth & Willimczik, 1999, S.61-62)

- *Weiteres Beispiel:
Radschleuder
(Göhner, 2001)*





4.9 Biomechanische Prinzipien (7)

Biomechanische Prinzipien nach Hochmuth (1982; vgl. auch Willimczik, 1999, S.55-63):

- Prinzip der Anfangskraft
- Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges
- Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf
- Prinzip der Koordination der Teilimpulse (Nacheinander!)
- Prinzip der Impulserhaltung (Satz)
- Prinzip der Gegenwirkung (3. Axiom von NEWTON)

Biomechanische Prinzipien nach Wiemann (1979):

- Kinetion (Hüfte/ Beine) / Modulation (Schulter/Arme)
- Optimaler Beschleunigungsweg
- Maximale Anfangskraft
- Koordination von Teilimpulsen

4.9 Biomechanische Prinzipien (8)



Erweiterung, Differenzierung und Ordnung durch Hasenbusch (1991)

- **Konstituierende Prinzipien:**
grundsätzlich für alle sportlichen Bewegungen relevant
 - *Hauptaktionsprinzipien:*
unverzichtbar für normale Impulserzeugung
 - *Ergänzende Aktionsprinzipien:*
spezielle/spezifische Ausformungen zur Vergrößerung bzw. Erhaltung von Impulsen
- **Begleitende Prinzipien:**
„begleitender Charakter“ (Hasenbusch, 1991, S.40)
 - *Allgemeine Unterstützungsprinzipien*
 - *Spezielle Unterstützungsprinzipien*

4.9 Biomechanische Prinzipien (9)



- **Hauptaktionsprinzipien:**
 - Einfache physiologische Anfangskraft (z.B. Squat Jump)
 - Einfache physikalisch-energetische/ potentiell-energetische Anfangskraft (z.B. Fall)
 - Einfacher Beschleunigungsweg ($s=0.5 \cdot a \cdot t^2$; z.B. Stoß)
- **Ergänzende Aktionsprinzipien (Impulsvergrößerung):**
 - Optimale Muskelvordehnung (?)
 - Optimale Ausholbewegung (Anfangskraft; z.B. Sprung)
 - Optimal erhöhte Anfangskraft (KSP-Lage; z.B. Reck)
 - Optimal verlängerter Beschleunigungsweg
 - Optimale aktive Pendelverkürzung (z.B. Kippe)
 - Optimale Stemmreaktion (z.B. Handstützüberschlag)
- **Ergänzende Aktionsprinzipien (Impulserhaltung):**
 - Impulsübertragung (z.B. Oberarmkippe am Barren)
 - Gegendrehung (z.B. Korrekturdrehungen der Arme)
 - Drehimpulserhaltung (z.B. Saltodrehung)

4.9 Biomechanische Prinzipien (10)

- **Allgemeine Unterstützungsprinzipien:**
 - Optimale Bewegungsausführung (Kinetion/Modulation; z.B. Laufen)
 - Optimale Koordination der Teilimpulse (z.B. Wurf)
 - Optimale Kontrolle des KSP (statisches/ dynamisches Gleichgewicht, z.B. Schwebebalken, Skilauf)
- **Spezifische Unterstützungsprinzipien:**
 - Statischer Auftrieb (Archimedisches Prinzip)
 - Dynamischer Auftrieb (Bernoulli-Effekt)
 - Optimaler Drall (Magnus-Effekt)

Ende Kapitel 4 – Teil 6

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Biomechanische Prinzipien –
Definition, Beispiele, Überblick

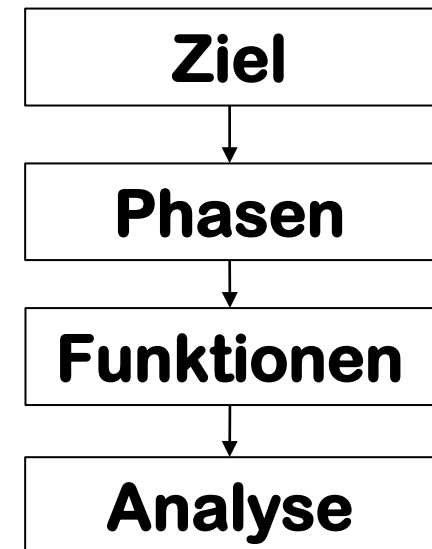
- **Lernziele:**

- Vorgehensweise bei der biomechanischen Analyse erläutern können

4.10 Biomechanische Analyse – Vorgehen

Analysebeispiel: Parallelschwung (alpiner Skilauf)

1. Schritt: Allgemeines Ziel des Parallelschwungs;
Medium „Schnee“
2. Schritt: Phasen der Bewegung
3. Schritt: Funktionsanalyse
Aufgabe(n) – Lösungsmöglichkeiten
4. Schritt: Biomechanische Analyse
 - Methodik: Messgrößen – Messverfahren – Versuchsaufbau
 - Beschreibung (Werte): Kinematik der Bewegung
 - Erklärung: Dynamik, EMG, Energie
 - Modellierung
 - Biomechanische Prinzipien
 - Besonderheiten: Medium, Hangneigung etc.



Ende Kapitel 4 – Teil 7

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



4.11 Aufgaben/ Fragen zu Kapitel 4 (1)



- ***Was ist ein biomechanischer Freiheitsgrad?***
- ***Welche grundsätzlichen Fragen ergeben sich bei der Betrachtung der Freiheitsgrade des menschlichen Körpersystems?***
- ***Nennen Sie die beiden Grundbewegungsformen!***
- ***Kennzeichnen Sie die biomechanischen Grundgrößen (mit Beispiel!):***
 - ***Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung***
 - ***Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung***
 - ***Kraft, Impuls, Kraftstoß***
 - ***Drehmoment, Drehimpuls, Drehmomentstoß***
 - ***Arbeit, Energie, Leistung***
- ***Was heißt „Messen“?***

4.11 Aufgaben/ Fragen zu Kapitel 4 (2)



- **Nennen Sie die wichtigsten biomechanischen Messverfahren!**
- **Ist es besser, Kräfte zu berechnen oder zu messen?**
- **Diskutieren Sie kritisch die biomechanischen Prinzipien im Hinblick auf ihre praktische Bedeutung:**
 - **Anfangskraft**
 - **Optimaler Beschleunigungsweg**
 - **Koordination der Teilimpulse**
- **Berechnen Sie die kinetische Energie für die folgenden Beispiele:**
 - **Laufen: $m=30/60/90\text{kg}$, $s=10\text{m}$, $t=1/2/3\text{s}$**
 - **Springen: $m=30/60/90\text{kg}$, $v=5/10\text{m/s}$**
- **Wie kann man - bei Kenntnis der Abfluggeschwindigkeit - auf der Grundlage des Energieerhaltungssatzes die Sprunghöhe ermitteln?**

4.12 Literatur zu Kapitel 4



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

s. Literaturdatei!

4.13 Lösungen zu den Aufgaben (1)



1. Schritt 1: $E_{\text{kin}} = m/2 \cdot v^2$ ➞ $30\text{kg}/2 \cdot (8\text{m/s})^2 = 960 \text{ Nm}$

Schritt 2: Bremsarbeit $W_{\text{brems}} = E_{\text{kin}} = F \cdot s$

➞ $960 \text{ Nm} = F \cdot 0.2\text{m} \Rightarrow F = 960/0.2 = 4800 \text{ N}$

2. Energieerhaltungssatz: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = m/2 \cdot v^2 = E_{\text{kin}}$

➞ Umstellen: $v = \text{Wurzel}(g \cdot h \cdot 2)$

$v = \text{Wurzel}(9.81\text{m/s}^2 \cdot 5\text{m} \cdot 2) = 9.9 \text{ m/s}$

3. Unterschied: unterschiedliche Elastizitätsmodule – stärkere Verformung des Minitrampolins

4. Beschl. von 1 auf 2 m/s ➞ E_{kin} : von $m/2 \cdot 1$ auf $m/2 \cdot 4$

$\text{Diff} = W = m/2 \cdot 3$

Beschl. von 10 auf 11 m/s ➞ E_{kin} von $m/2 \cdot 100$ auf $m/2 \cdot 121$

$\text{Diff} = W = m/2 \cdot 21$

5. Ja: z. B. Sehnen, Bänder, Aktin-Myosinbrücken

6. Gesamtenergie des menschlichen Körpersystems – Summe aller Teilenergien (kinetisch, potenziell, Deformation)

4.13 Lösungen zu den Aufgaben (2)



- 7. Vorüberlegung 1:** In der Flugzeit t_F absolviert der Körper die Flughöhe h zweimal (einmal aufsteigend und dann wieder absteigend) –
☞ In der Hälfte der Zeit ($0.5 \cdot t_F$) steigt er also bis zum Scheitelpunkt.

Vorüberlegung 2: In der aufsteigenden Flugphase wirkt sich die Erdbeschleunigung g auf den Körper aus.

☞ Um den Flugweg zu bestimmen, muss man g zweimal integrieren:

1. Integration: $v = \int g \, (dt) = g \cdot t$ (Formel 1)

2. Integration: $s = \int g \cdot t \, (dt) = 0.5 \cdot g \cdot t^2$ (Formel 2)

Lösung: Da h in der Hälfte der Flugzeit erreicht wird (in der zweiten Hälfte fällt der Körper wieder), müssen wir in Formel (2) $0.5 \cdot t_F$ einsetzen:

$$h = 0.5 \cdot g \cdot (0.5 \cdot t_F)^2 = 0.125 \cdot g \cdot t_F^2$$