Bemerkung zu den Texten und Bildern, die in der Vorlesung gezeigt wurden:

Aus urheberrechtlichen Gründen könne die aus Büchern kopierten Abbildungen hier nicht eingeschlossen werden. Sie sind jeweils zitiert und sind aus folgenden Büchern entnommen:

Bergmann.Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 1, Walter de Gruyter Berlin 1998
G.S. Campbell An introduction to environmental Biophysics
Springer New York, 1977
Denis and Pierson the speech chain
D.C. Giancoli, Physics, Principles with applications
Prentice Hall, Englewood cliffs, 1980
W. Hoppel et al. Biophysik, Springer Berlin 1978
H. Horvath Biologische Physik, HPT&BV, 2003
J.L. Montheit. Grundzüge der Umweltphysik, Steinkopf, Darmstadt 1978
R.W.Pohl Einführung in die Physik, Band 1, mechanik, Akustik, Wärmelehre
Springer Berlin 1941
J. Schreiner Physik I, HPT&BV, Wien, 1982
Scientific American, monatlich erscheinende Zeitschrift
P.A. Tipler, Physik. Spektrum Verlag, Heidelberg 1991
H. Vogel, Gehrtsen Physik Springer Berlin, 1995

Die gezeigten Applets können bei http://www.walter-fendt.de angesehen werden

GRÖSSENVERÄNDERUNG (Scaling)

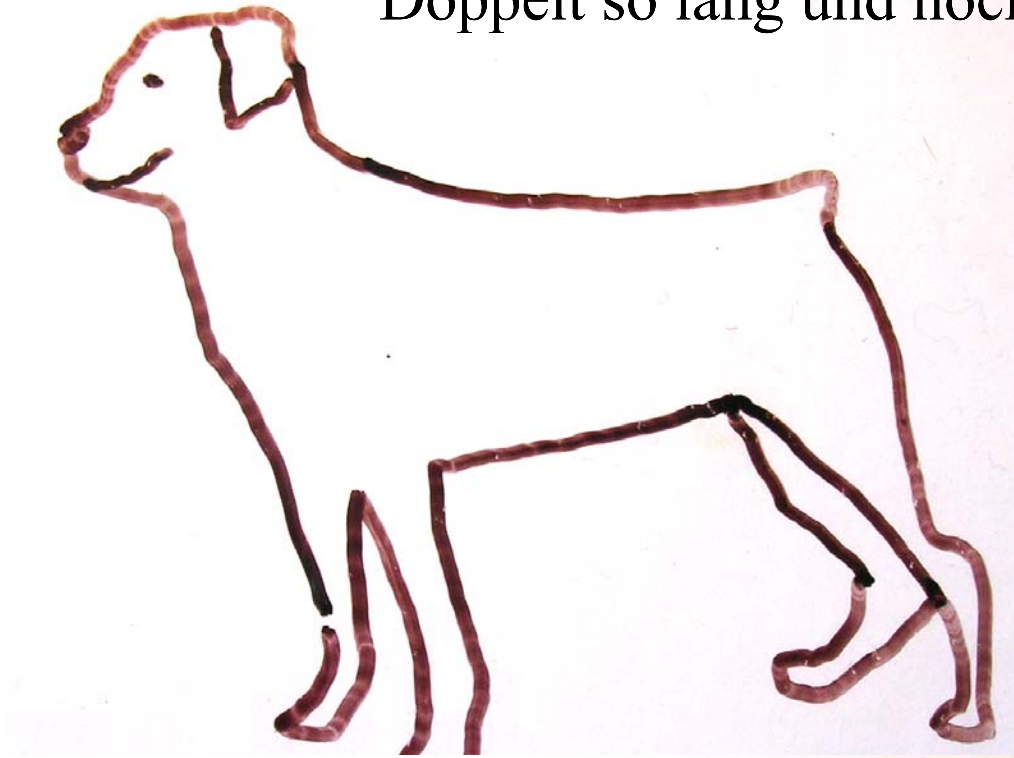
Warum gibt es keine Rieseninsekten (außer in Science Fiction), warum werden kleine Tiere nicht das Opfer der viel kräftigeren großen, Warum schlägt das Herz kleinerer Tiere viel schneller, etc.

Diese Frage läßt sich leicht mit Größenbetrachtungen beantworten:

Wir nehmen an, daß alle Tiere ähnlich gebaut sind, d.h. eine doppelt so langes Tier ist auch doppelt so breit und doppelt so hoch.

Original

Doppelt so lang und hoc



Viele Größen sind proportional zueinander zB Masse und Preis:

1 kg Äpfel …… 1 €
2 kg …………… 2 €
4 kg …………… 4 €

$P = k \cdot M$ oder $P \propto M$

proportional zu

Rechenregeln für Proportionalitäten

Falls $a \propto b$ und $b \propto c \longrightarrow a \propto c$

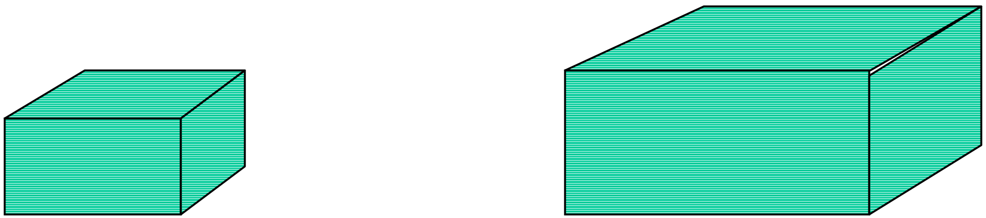
1 kg Äpfel …… 1 €
2 kg …………… 2 €
4 kg …………… 4 €

1 € ……. 110¥
2 € ……. 220¥
4 € ……. 440¥

1 kg Äpfel …… 110 ¥
2 kg …………… 220 ¥
4 kg …………… 440 ¥

$$\text{Falls } a \propto b \text{ und } c \propto d \longrightarrow a \cdot c \propto b \cdot d$$
$$\text{Falls } a \propto b \text{ und } c \propto d \longrightarrow \frac{a}{c} \propto \frac{b}{d}$$

Betrachte verschieden große Quader die zueinander ähnlich sin



Die Größe des Quaders wird durch seine Länge *l* charakterisiert
--->charakteristische Größe *l*

$$\begin{array}{ll} b = k_1 \cdot l & b \propto l \\ h = k_2 \cdot l & h \propto l \\ \hline l \cdot b \cdot h = k_1 \cdot k_2 \cdot l^3 & V \propto l^3 \end{array}$$

Breite in Höhe sind proportional zur charakteristischen Größe

Allgemein $V \propto l^3$, $A \propto l^2$.

$m = \rho . V$, daher m proportional zu V

Biologisches Material hat bei allen Lebewesen dieselbe Dichte, daher ist die Masse proportional zu l^3

Wir betrachten den Vorgang des Springens. Durch Abstoßen vom Boden wird eine Absprunggeschwindigkeit v_0 erreicht. Die Sprunghöhe ergibt sich aus (siehe früher)

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Die Absprunggeschwindigkeit wird durch Beschleunigen mit der Beschleunigung a durch Muskelkraft F erreicht: Es ist

$$a = \frac{F}{m}$$

Durch Beugen und Strecken der Beine steht eine Beschleunigungsstrecke Δs zur Verfügung. Es ist (siehe früher)

$$v_0 = \sqrt{2a\Delta s}$$

Die Muskel aller Lebewesen sind nach demselben Prinzip gebaut. Ein Sarkomer hat denselben Querschnitt und entwickelt dieselbe Kraft.

Die Kraft hängt nur von der Zahl der kontrahierenden Sarkomere ab, d.h. von der Querschnittsfläche A des Muskels

$$F \propto A \propto l^2$$

Außerdem ist: $m \propto l^3$

Daher: $\longrightarrow a = \dfrac{F}{m} \propto \dfrac{l^2}{l^3}$

Die Beschleunigungsstrecke hängt von der Körpergröße ab und ist proportional zu ihr: $\Delta s \propto l$

Daher ist die Absprunggeschwindigkeit v_0

$$\longrightarrow v_0 = \sqrt{2a\Delta s} \propto \sqrt{l^{-1} \cdot l} = l^0$$

Die Absprunggeschwindigkeit ist unabhängig von der Körpergröße, daher auch die Sprunghöhe (jene Höhe durch die der Schwepunkt durch Abstoßen vom Boden gehobem werden kann)

Abb. 6.2 Biologische Physik

Tragen einer Last: Die Muskelkraft F muß der Schwerkraft $m_t.g$ der getragenen Masse m_t entgegengesetzt sein

$F \propto l^2$ Daher ist die maximal tragbare Last $m_t \propto l^2$

Die Körpermasse $m_K \propto l^3$

Somit $\frac{m_t}{m_K} \propto \frac{l^2}{l^3} = l^{-1}$ Je größer das Tier, desto weniger Masse,kann es im Vergleich zu seiner Körpermasse tragen.

Vergleich Mensch - Ameise

$$\frac{\left(\frac{m_t}{m_K}\right)_{\text{Ameise}}}{\left(\frac{m_t}{m_K}\right)_{\text{Mensch}}} = \frac{l^{-1}_{\text{Ameise}}}{l^{-1}_{\text{Mensch}}} = \frac{l_{\text{Mensch}}}{l_{\text{Ameise}}}$$

Laufen: Beim Laufen müssen die Beine beschleunigt und abgebremst werden.

Die Muskelarbeit ist $\Delta W = F \cdot \Delta s \propto l^2 \cdot l = l^3$

Diese wird verwendet um das Bein in Rotation zu versetzen, dieMuskelarbeit wird in Rotationsenergie umgewandelt

$$E_r = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$$

Das Trägheitsmoment *I* ist $I = \sum \Delta m_i \cdot r_i^2 \propto l^3 \cdot l^2 = l^5$

Das Bein führt eine Drehbewegung aus, daher ist

$$\omega = \frac{v}{r} \propto \frac{v}{l} = v \cdot l^{-1}$$

Die Rotationsenergie im bewegten Bein ist daher

$$\longrightarrow E_r = \frac{I \cdot \omega^2}{2} \propto (v \cdot l^{-1})^2 \cdot l^5 = v^2 \cdot l^3$$

Die Muskelarbeit schafft $\Delta W \propto l^3$

--> Laufgeschwindigkeit aller Tiere muß dieselbe sein

Abb. 6.2 Biologische Physik

Bei einem Schritt wird die Rotationsenergie 4 x umgesetzt. Die Leistung ist

$$P = \frac{E_R}{\Delta t}$$

Die Zeit für einen Schritt ergibt sich aus

$$\Delta t = \frac{\text{Schrittlänge}}{v} \propto \frac{l}{v}$$

$$\longrightarrow P \propto \frac{v^2 \cdot l^3}{\frac{l}{v}} = l^2 \cdot v^3$$

Rasches Laufen ist anstrengend, wegen der raschen Bewegung der Beine.

Beim Radfahren werden die Beine weniger rasch bewegt

Nich immer ist es möglich ein Lebwesen anderer Größe mir demselben Körperbau zu haben.

Betrachte Last, die ein Knochen aushalten muß.

Im wesentlichen die Körpermasse , beim Springen mehr, aber proportional zue Körpermasse. Beim üblichen “Betrieb” maximal die 10 fache Schwerkraft.

$$m \propto l^3$$

Die Kraft die ein Knochen maximal aushält hängt vom Querschnitt ab und ist F = σ_{max}.Q

Daher muß sein $$Q \propto l^3$$

Die Dicke des Knochens: $$d \propto \sqrt{Q} \propto \sqrt{l^3} = l^{1.5}$$

Knochendicke nimmt stärker zu als die Körpergröße

Vergleich Elefant - Reh, oder Grashalm - Sequoia

Bild von Reh und Elephant aus Meyers Konversationslexikon

Vergrößerte Insekten in Menschengröße kann es nicht geben

Blutkreislauf: Blut transportiert Wäre aus dem Körperinneren an die Oberfläche, wo sie abgegeben wird. Die abgegebene Wärmeleistung P ist proportional zur Körperoberfläche A

$A \propto l^2$ Daher ist die Wärmeabgabe $\propto l^2$

$m \propto l^3$ oder $\sqrt[3]{m} \propto l$ oder $l \propto m^{\frac{1}{3}}$

$$P \propto m^{\frac{2}{3}}$$

Metabolische Rate

Abbildung aus dem Buch “Scaling”

Herzvolumen

$$V_h \propto l^3$$

Transportierte Blutmenge

$$\dot{V} \propto l^2$$

Herzfrequenz

$$f = \frac{\dot{V}}{V_h} \propto \frac{l^2}{l^3} = l^{-1}$$

Kleine Tiere haben höhere Herzfrequenz

Abb. 6.3 Biologische Physik

Lebensdauer T: Alle Muskel sind gleich gebaut. Sie halten eine bestimmte Anzahl vom Muskelkontraktionen aus.

$$T \propto l$$

Abb. 6.3 Biologische Physik

Nahrung zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur

Abgegebene Wärmemenge pro Zeit

$$P \propto l^2$$

Daher aufzunehmende Nahrung pro Tag

$$m_{\mathrm{Nahrung}} \propto l^2$$

$$\frac{m_{\text{Nahrung}}}{m_{\text{Körper}}} \propto \frac{l^2}{l^3} = l^{-1}$$

Je kleiner das Lebewesen, desto mehr Nahrung benötigt es in bezug auf seine Körpermasse

$$\frac{\left(\frac{m_{\text{Nahrung}}}{m_{\text{Körper}}}\right)_{\text{Maus}}}{\left(\frac{m_{\text{Nahrung}}}{m_{\text{Körper}}}\right)_{\text{Mensch}}} = \frac{l_{\text{Mensch}}}{l_{\text{Maus}}}$$

$$\left(\frac{m_{\text{Nahrung}}}{m_{\text{Körper}}}\right)_{\text{Maus}} = \frac{1kg}{50kg} \cdot \frac{1,6m}{0,05m} = 0,64$$

Ab einer bestimmten Körperkleinheit keine Warmblüter, keine Kleinsäuger in kalten Gebieten

Fliegen: Auftrieb der Flügel muß die Schwerkraft kompensieren

$$F_A \propto m \propto l^3$$

$$F_A = \frac{1}{2}\rho v^2 A \cdot c_A \propto A_{\text{Flügel}}$$

Alle Vögl können gleich schnell fliegen, das sonst die Kleinen oder Grossen ausgerottet

$$A_{\text{Flügel}} \propto l^3$$

Spannweite *d* der Flügel

$$d \propto \sqrt{A} \propto l^{1,5}$$

Flügelgröße nimmt überproportional zur Körpergröße zu

Wanderfalke

Seeadler

Leistung beim Fliegen

$$P = \frac{F \cdot \Delta s}{\Delta t} = F_W \cdot v$$

$$F_A = \frac{1}{2}\rho v^2 A \cdot c_A$$

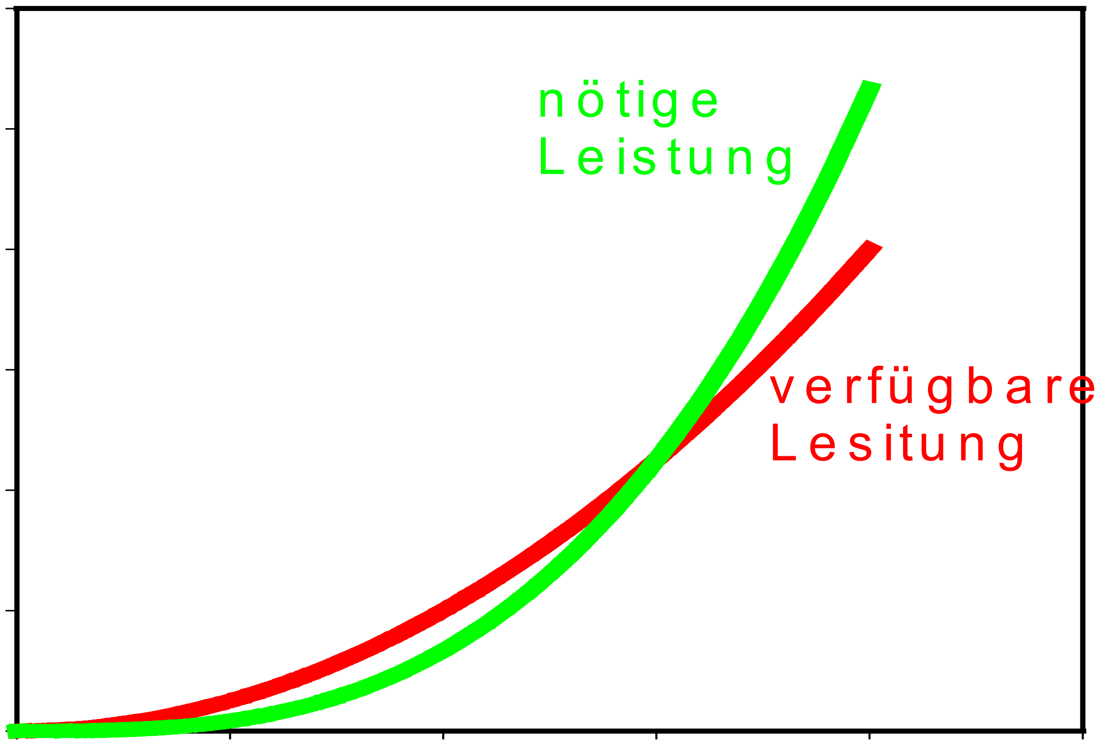
$$F_W = \frac{1}{2}\rho v^2 A \cdot c_W$$

$$F_W \propto F_A \propto l^3$$

Bei gleicher Fluggeschwindigkeit v = const:

$$P_{\text{nötig für Flug}} \propto l^3$$

Von früher: $$P_{\max} \approx 10 \cdot P_{\text{metabolic}} \propto l^2$$



Ab einer bestimmten Größe, können Vögel nicht mehr fliegen, Große Vögel segeln hauptsächlich im Aufwind