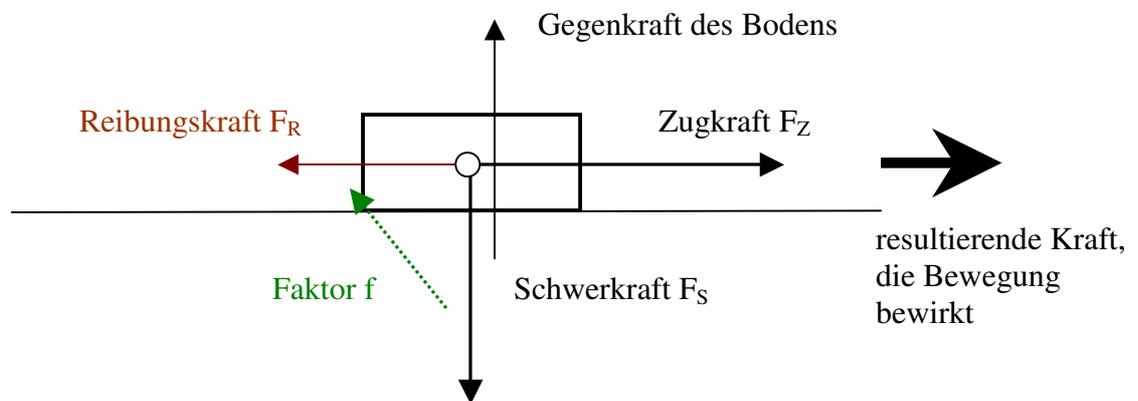


## Kraft

Die Messung der Kraft kann durch die Dehnung oder Stauchung einer Feder erfolgen (im Prater der Watschenmann oder der Kraftdrücker). Auch eine Federwaage eignet sich dazu. Also hat die Kraft eine starke Verwandtschaft mit der Masse, sie ist direkt proportional zur Masse: **1kg Masse entsprechen 10 Newton Kraft** (Schwerkraft). Die Maßeinheit ist Newton, wobei Newton die **Kraft = Masse mal Beschleunigung** definiert hat. (Erdbeschleunigung ist  $9,81 \text{ m/s}^2$ ): Buchstabe ist F wie Force:  $F = m \cdot a$  (Force = mass · acceleration) Einheit:  $[\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N(ewton)}]$

### Arten der Kraft:

- Beschleunigungskraft  $F = m \cdot a$
- Schwerkraft  $F_S = m \cdot g$  ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )
- Federkraft  $F_F = k \cdot \Delta x$  ( $\Delta x$  ist die Federdehnung, k eine Konstante)
- Reibungskraft:  $F_R = f \cdot F_S$  (die Reibungskraft hängt nur vom Druck auf die Unterlage ab, nicht von der Geschwindigkeit der Bewegung, daher ist sie ein f-faches der  $F_S$ -Schwerkraft des Körpers, der über die Unterfläche bewegt wird)



Reibungszahlen f	Haftreibung	Gleitreibung	Rollreibung
Autoreifen auf Asphalt	0,8 (trocken) 0,5 (nass)	0,75 (trocken) 0,45 (nass)	0,025 (Auto) 0,003 (Eisenbahn)

Beim Ziehen eines Körpers am Boden ist zuerst die **Haftreibung** wirksam (Verzahnung der Moleküle des einen Körpers mit dem anderen: 80%) – bevor der Körper sich bewegt.

Bei der anfangenden Bewegung wird die Reibung kleiner (**Gleitreibung** 75%).

Am besten ist es bei der **Rollreibung**, da ist der Reibefaktor nur mehr 2,5 %.

Die Reibung hängt im wesentlichen nur von der Normalkraft auf die Unterlage ab, nicht von der Geschwindigkeit und auch nicht wesentlich von der Auflagefläche (bei Holz auf Holz). Bei Reifen auf Asphalt ist die Auflagefläche wichtig und der Reibefaktor kann über 1 (=100%) gehen.

Beim **Bremsen** ist wichtig, dass man nicht zur Gleitreibung kommt, sonst wird weniger stark gebremst. Deswegen hat man ein ABS-System eingebaut (Anti-Block-System).

## 4 Grundgesetze der Kraft:

### **Wechselwirkungsgesetz:**

Wo eine **Kraft** auftritt **ist** eine **Gegenkraft**, die ihr das Gleichgewicht hält (wenn der Körper **in Ruhe** ist oder – in gleichförmiger Bewegung mit **konstanter Geschwindigkeit**)

- Der erste Fall tritt ein, wenn ich mit Kraft auf eine Wand drücke – dann drückt die Wand mit gleicher Kraft dagegen, sonst fällt sie um!
- Der zweite Fall tritt auf, wenn ein Auto mit 100 Sachen über die Autobahn fährt – und die Antriebskraft auf eine Gegenkraft des Windes und der Reibung trifft. – Wieso kann es dann überhaupt fahren, wenn keine Kraft mehr auftritt ? –

*Die Kraft war schon da, als das Auto beschleunigt wurde (man merkt es am Druck in die Rückenlehne) – nur bei der konstanten Geschwindigkeit merkt man keine Kraft mehr, man wird nicht mehr in die Lehne gedrückt, es wirkt die Trägheit des Körpers, der von allein weiterfahren möchte bis in alle Ewigkeit – nur irgendwann ist die Autobahn zu Ende! – und dann wird gebremst und die Kraft treibt einen nach vorne in die Windschutzscheibe – Gott sei Dank gibt es den Airbag!*

### **Trägheitssatz:**

Ein Körper, auf den **keine Kraft** wirkt, verharrt in **Ruhe** oder in **gleichbleibender Geschwindigkeit** auf **geradliniger** Bahn

(eigentlich nur im Weltall und selbst dort sind die Bahnen Ellipsen, weil es immer eine Masse gibt, die Kraft ausübt, also ist das nur ein gedachter Idealfall! – Galilei hat sich gedacht: Ich laufe auf einem Eis und das Eis übt immer weniger Reibung aus und ich flitze unendlich dahin ....)

### **Newtons Kraftdefinition:**

Kraft ist Masse mal Beschleunigung

(wenn Beschleunigung vorliegt, kann man eine Kraft auch sehen und spüren)

### **Satz vom Kräfteparallelogramm:**

Kräfte werden **vektoriell addiert** und ergeben ein Kräfteparallelogramm

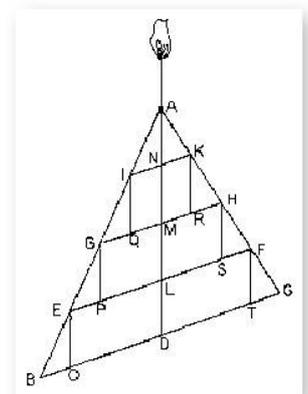
### **Versuche zur Kraft:**

- Ein Klotz hängt an einer Schnur und ich ziehe an der unteren Schnur. Welche reißt ? (oben oder unten?) (Trägheit)
- Hamster im Rad (Wechselwirkung)
- Magnet und Eisen schwimmen am Wasser (Wechselwirkung)
- Mensch am Wagen und Fass am Wagen mit Seil heranziehen (Wechselwirkung)
- Eisenbahn auf drehbarer Scheibe (Wechselwirkung)
- Schiff auf Wasser (Kraft nach unten und Gegenkraft vom Wasser) (Wechselwirkung)

### **Schwerpunkt:**

Wird ermittelt durch Aufhängen auf verschiedenen Stellen ermittelt →

- Versuch: Stabschwerpunkt durch Fingerschieben ermitteln
- Versuch: Kork und Gabeln: Kork schwebt am Glas



## Hebelgesetze:

**1. Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm**  
oder anders formuliert:

Wenn das Drehmoment der Kraft gleich dem Drehmoment der Last ist, herrscht am Hebel Gleichgewicht



Foto von Lordas

Hier bedeutet **Drehmoment**: Kraft mal Normalabstand vom Drehzentrum  
(Einheit: Newtonmeter Nm)

**1. Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm**  
oder anders formuliert:

Wenn das Drehmoment der Kraft gleich dem Drehmoment der Last ist, herrscht am Hebel Gleichgewicht

Hier bedeutet **Drehmoment**: Kraft mal Normalabstand vom Drehzentrum  
(Einheit: Newtonmeter Nm)

**2. Was an Kraft gewonnen wird, geht an Weg verloren**

oder anders formuliert:

die **Arbeit** (= Kraft mal Weg) bleibt konstant

LINK:

<http://www.walter-fendt.de/ph11d/hebel.htm>  
(hier kann man mit dem Hebel spielen)

### Arten der Hebel:

1. Feste Rolle <http://www.gymipro.de/Physik/feste-rolle.htm>
2. Lose Rolle <http://www.gymipro.de/Physik/lose-rolle.htm>
3. Flaschenzug <http://www.gymipro.de/Physik/flaschenzug.htm>
4. Schiefe Ebene für Weinfässer: sehr praktisch
5. Keil: Je flacher der Winkel des Keiles ist, desto weniger Kraft muss ich aufwenden, um den Keil unter den Eimer zu treiben. Je steiler der Winkel ist, umso höher hebt der Keil den Eimer.

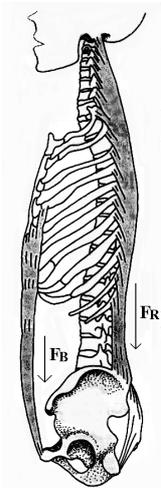
### **Vergleich: Ameise – Mensch**

Wenn man die kleine Ameise mit ca. 2 cm auf die Menschengröße vergrößert mit ca. 2 m, so muss die **Länge** um den Faktor 100 vergrößert werden, die **Fläche** wird dann um  $100 \times 100$  vergrößert, was auch die Muskeln betrifft (Muskelquerschnitt). Das **Volumen** und damit auch die Masse wird um den Faktor  $100 \times 100 \times 100 = 1$  Million vergrößert. Wenn wir ca. 100 kg = 100 000g wiegen, so müsste die Ameise das Millionstefache wiegen, also 100 000 g: 1 Million = 0,1 g.

**Die Ameise kann das 3-fache ihres Körpergewichtes heben, also 0,3g.** Bei der Vergrößerung auf Menschengröße würden die Muskeln den 10 000-fachen Querschnitt haben und daher das 10 000-fache heben können – also  $10\,000 \cdot 0,3\text{g} = 3\text{ kg}$ . Also wäre die Ameise eigentlich recht schwach, wenn man bedenkt, dass wir 20 kg heben können ohne Probleme.

## Kraft beim Heben – Wirkung auf die Wirbelsäule

Aus: <http://www.physik.uni-muenchen.de/didaktik/>



Bei der Wirbelsäule gibt es ein komplexes Muskelzugsystem, das mit den Zugleinen eines Schiffsmastes verglichen werden kann. In Bild 4 sind Bauchmuskeln ( $F_B$ ) und ihre Antagonisten, die Rückenmuskeln ( $F_R$ ), dargestellt. Ihr fein abgestimmtes Zusammenspiel garantiert eine aufrechte Haltung und Beweglichkeit des Oberkörpers.

Bild 4: Die Rumpfmuskulatur für die Erhaltung der aufrechten Körperhaltung. Die Pfeile  $F_B$  und  $F_R$  der von den Bauch- und Rückenmuskeln ausgeübten Kräfte sind nicht maßstabsgerecht zueinander

Die Muskeln, die die Wirbelsäule aufrecht halten müssen, ziehen immer mit einer Komponente nach unten und üben damit auf die Wirbelsäule einen zusätzlichen Druck aus. Der Druck auf die Wirbelsäule ist daher nicht nur von dem darüber liegenden Körpergewicht und äußeren Belastungen gegeben, sondern auch von der Kraft die von den Muskeln ausgeübt wird.

Die **Bauchmuskeln sind häufig schwach**, die Rückenmuskeln hingegen kräftig. Der Grund liegt darin, dass die Rückenmuskeln oft gegen die Schwerkraft arbeiten müssen und außerdem die Länge des Kraftarmes klein ist. Dieser Kraftarm ist der Abstand zwischen dem Drehpunkt (Zentrum der Lendenwirbel) und der Richtung des Muskelzugs und beträgt beim Menschen ungefähr 5 cm.

Im Stehen verläuft das Schwerpunktlot des Oberkörpers nur wenige cm vor dem Zentrum der Lendenwirbelscheibe (Bild 5).

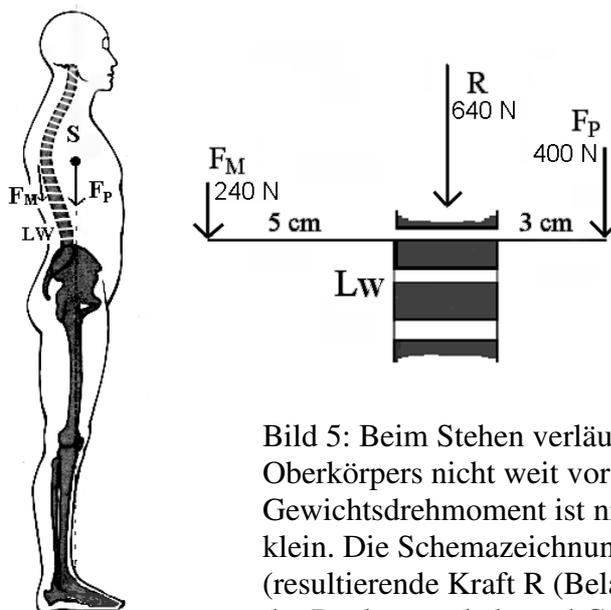


Bild 5: Beim Stehen verläuft das Lot des Schwerpunkts (S) des Oberkörpers nicht weit vor den Lendenwirbeln LW, das Gewichts-drehmoment ist nicht groß und daher ist die Belastung klein. Die Schemazeichnung verdeutlicht die Verhältnisse (resultierende Kraft R (Belastung), Kraft  $F_M$  der Rückenmuskeln und Gewichtskraft  $F_P$ ).

Die beiden Drehmomente, hervorgerufen durch die Gewichtskraft und die Rückenmuskeln, müssen sich im Gleichgewichtszustand kompensieren. Wenn wir annehmen, dass der Hebelarm des Gewichtes des Oberkörpers vom Zentrum der Wirbelscheibe **3 cm**, der hintere Hebelarm der Rückenmuskel **5 cm** und die Gewichtskraft des Oberkörpers  $F_P = 400 \text{ N}$  ( $m \approx 40 \text{ kg}$ ) ist, ergibt sich aus  $400 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = F_M \cdot 5 \text{ cm}$  für die von den Rückenmuskeln auszuübende Kraft **240 N**. Die aus Körpergewicht und von den Muskeln ausgeübte resultierende Kraft wirkt direkt auf die Bandscheibe bzw. das Gelenk und ist für ihre Beanspruchung maßgebend.

Die Kraft  $F_M$  haben wir in diesem und in anderen Beispielen als Summe aller von den Muskeln ausgeübten Kräfte bezeichnet, wohlverstanden aber, dass diese Substitution wegen der in verschiedene Richtungen wirkenden Kräfte, die auch unterschiedliche Angriffspunkte haben, eine Annäherung bzw. ein vereinfachtes Modell darstellt. Außerdem haben wir  $F_M$  als vertikal wirkend betrachtet, denn die kräftigeren Muskeln verlaufen parallel zur Wirbelsäule, die ja im Wesentlichen vertikal verläuft.

### Belastung bei dickbäuchigen Menschen und bei schlechter Körperhaltung

Man spricht im Allgemeinen von einer guten Haltung, wenn der Rücken eine aufrechte und gestreckte Position einnimmt, aber gleichzeitig entspannt ist. In dieser Lage sind Bandscheiben, Muskeln, Sehnen und Bänder weitgehend entlastet und werden kaum beansprucht.

Viele Menschen haben jedoch eine schlechte Körperhaltung, die oft mit einer Schwerpunktverlagerung einher geht und eine zusätzliche Belastung für die Wirbelsäule und eine Mehrarbeit der aufrecht haltenden Muskulatur bedeutet.

Als Beispiel betrachten wir einen untrainierten und dickbäuchigen Menschen, bei dem die Bauchmuskeln völlig erschlafft sind und der schwere Bauch sich nach vorne schiebt. Der Schwerpunkt des oberen Körperteiles wird daher nach vorne verschoben und das Lot des Schwerpunktes  $S$  fällt weiter als normal vor die Wirbelsäulenbasis (Bild 6).

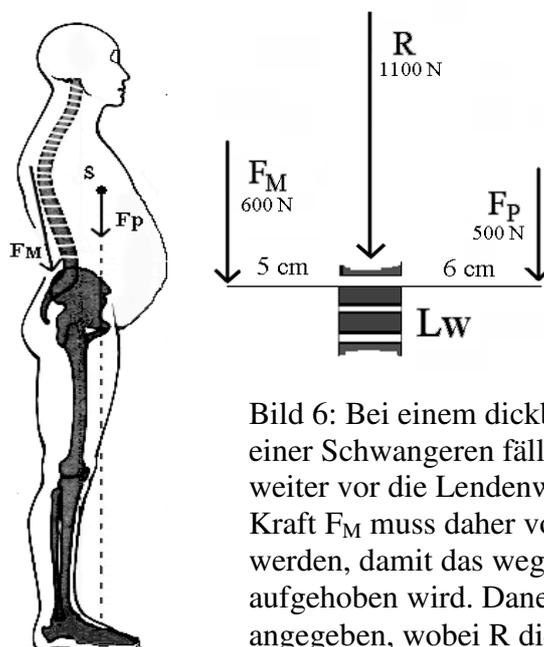


Bild 6: Bei einem dickbäuchigen Menschen oder auch bei einer Schwangeren fällt das Lot des Schwerpunktes  $S$  etwas weiter vor die Lendenwirbel  $LW$  als normal. Eine erhöhte Kraft  $F_M$  muss daher von den Rückenmuskeln ausgeübt werden, damit das wegen  $F_P$  wirkende Drehmoment aufgehoben wird. Daneben ist das zugehörige Kraftschema angegeben, wobei  $R$  die resultierende Kraft ist.

Es entsteht daher ein Drehmoment, das von den Rückenmuskeln kompensiert werden muss. Nehmen wir an, dass das Körpergewicht oberhalb der Lendenwirbelsäule nun ca. **50 kg** beträgt und daher der Abstand der Lotlinie vom Zentrum der Bandscheibe des unteren Lendenwirbels **6 cm** beträgt. Wenn der Abstand zwischen Lendenwirbelsäule und Rückenmuskulatur **weiterhin 5 cm** beträgt, gilt  $500 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} = F_M \cdot 5 \text{ cm}$ . Die Rückenmuskeln müssen deshalb eine Kraft  $F_M$  vom

Betrag 600 N ausüben, um das wirkende Moment der Gewichtskraft des Körpers auszugleichen und den aufrechten Stand zu sichern. Die Belastung auf die Bandscheiben der Lendenwirbelsäule von 1100 N ist durch die Summe beider Kräfte gegeben. Wie man sieht, ist diese Belastung fast doppelt so groß wie bei einem trainierten Menschen. Außerdem kommt bei untrainierten Menschen wenig Hilfe von der Bauchmuskulatur, die bei Anspannung den intra-abdominalen Druck erhöhen und dem Rumpf helfen könnte, sich aufrecht zu halten.

**Wenn der Körper nach hinten gebeugt wird um das Schwerpunktlot den Lendenwirbeln zu nähern, nimmt man eine anatomisch sehr unnatürliche Haltung ein.**

### Belastung beim Sitzen

Im Allgemeinen geht beim spontanen Sitzen die S-Form der Wirbelsäule verloren. Gerades Sitzen ohne Rückenlehne ist bekanntermaßen ermüdend und führt nach einer gewissen Zeit zum Einsacken des Rumpfes.

Beim Lesen und Schreiben ist die Blickrichtung von maßgeblicher Bedeutung für die Kopfstellung und damit für die Stellung und Krümmung des Rückens. Meist beugt man sich nach vorne über, was langfristig zu Kopfschmerz (Antiflexionskopfschmerzen) und Rücken-Nacken-Beschwerden führen kann.

Beim üblichen Sitzen verläuft die Lotlinie des Schwerpunkts weit vor dem Lendenwirbel, während der Hebelarm des Rückenmuskels, wie beim Stehen, ungefähr 5 cm lang ist (Bild 7). Der Bandscheibeninnendruck bzw. die Belastung ist daher groß und abhängig von der Beugung nach vorne. Wenn wir annehmen, dass die Lotlinie im Abstand von 15 cm von der Lendenwirbelsäule verläuft, ergibt sich aus der oben genannten Gleichung eine wirkende Kraft auf die Bandscheibe von **1600 N**. Einige Autoren haben gemessen, dass die letzten Lendenwirbelscheiben beim Sitzen stärker beansprucht sind als beim Liegen oder Stehen. Sie fanden Druckwerte um 250 kPa im Liegen, 550 kPa im Stehen und 700 kPa im Sitzen [Schobert (1989)]. Beim Autofahren ist die Belastung durch die Stöße bei unebener Straße noch größer.

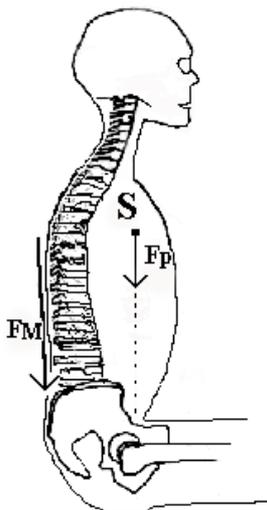
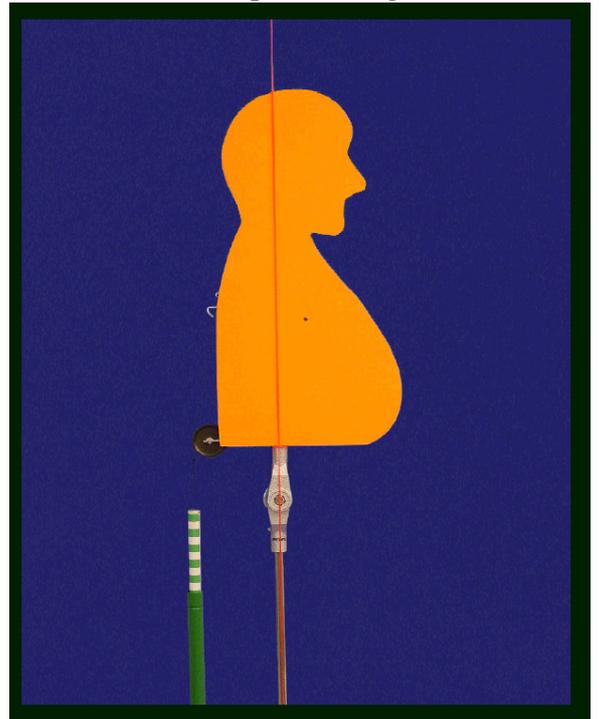


Bild 7: Beim freien Sitzen verläuft das Lot der Oberkörpergewichtskraft ( $F_P$ ) weit vor der Wirbelsäule, die Belastung ist damit groß und hängt von der Beugung nach vorne ab. S ist der Schwerpunkt des Oberkörpers und  $F_M$  die von den Muskeln zur Herstellung des Gleichgewichtes ausübende Kraft.

### 3. Belastungen beim Heben eines Gewichtes

In Bild 4a bzw. 4b wird mit Hilfe des Modells die Belastung beim Heben mit hängenden Armen und geraden bzw. gebeugten Beinen gezeigt. Die Schüler erkennen, dass mit gebeugtem Rücken und gestreckten Beinen der Hebelarm  $l$  des Oberkörpers bzw. der Last länger als mit geradem Rücken und gebeugten Knien ist. Die kompensierende Kraft, die von den gesamten Rückenmuskeln ausgeübt wird, muss im ersten Fall groß sein und daher wird auch die Belastung der Wirbelsäule sehr hoch.

Mit Hilfe des Rechenbeispiels aus der Lehrerinformation kann die Belastung der Wirbelsäule beim Heben einer Last, wobei die Person im ersten Fall aufrecht steht und im zweiten Fall Beine und Oberkörper einen Winkel von  $90^\circ$  einschließen, verglichen werden.

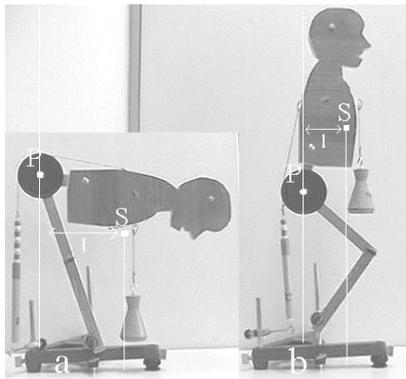


Bild 4: Falsches Heben mit gebeugtem Rücken und gestreckten Beinen (a), richtiges Heben mit geradem Rücken

und gebeugten Knien (b).