

DR. MARTIN HILLEBRECHT

Biomechanik im Sporttheorieunterricht

- Innere und äußere Kräfte -

1 EINLEITUNG

Im ersten Teil der Reihe Biomechanik im Sportunterricht wurde die physikalische Größe Kraft und deren Messung behandelt. Von besonderer Bedeutung war dabei die Kraftmessung der sogenannten Reaktionskräfte, die z.B. am Erdboden gemessen werden konnte. In der Biomechanik sind allerdings nicht nur diese "äußeren" Kräfte von Interesse, sondern auch Kräfte, die im Körper, also an Sehnen, Muskeln, Bändern und Gelenken angreifen. So ist es eine Hauptaufgabe der "Präventiven Biomechanik", eine Belastungs- und Beanspruchungsanalyse vorzunehmen und daraus Aussagen zur Belastungsgestaltung abzuleiten. Informationen über die Belastungsverträglichkeit des aktiven und passiven Bewegungsapparates sind daher von großer Bedeutung, um Überlastungen und Schäden zu vermeiden.

Im Rahmen einer Belastungsanalyse sollen mechanische Faktoren der Belastung und Beanspruchung des passiven und aktiven Bewegungsapparates identifiziert und deren Wirkung (Beanspruchung) untersucht werden. Das "Ziel der Belastungsgestaltung besteht in einer Abstimmung der mechanischen Beanspruchung auf die Belastbarkeit des Bewegungsapparates" (WILLIMCZIK 1989, 18). Zum einen wird durch diese Kenntnisse eine verletzungsvorbeugende Belastungsgestaltung möglich, zum anderen können Sportgeräte, Sportböden und sportmotorische Bewegungstechniken so gestaltet werden, daß eine möglichst geringe Beanspruchung resultiert.

2 INNERE UND ÄUSSERE BIOMECHANIK

Die Differenzierung in innere und äußere Biomechanik ermöglicht zwei verschiedene

Betrachtungsweisen von Bewegung. Die äußere Biomechanik beschäftigt sich mit der kinematischen (Wege, Geschwindigkeiten, ...) und dynamischen Analyse (Kräfte, Drehmomente, ...) von Bewegungen. Die ermittelten Größen sind außerhalb des Körpers gemessen. Die innere Biomechanik versucht, Kräfte und Momente im Inneren des Körpers zu berechnen bzw. abzuschätzen. Insbesondere die Belastungen auf Bändern, Sehnen und Gelenken sind von Interesse. Sie werden aus der Ermittlung von äußeren Kräften und Drehmomenten berechnet, da eine direkte Meßwerterfassung im Muskel bzw. in der Sehne oder dem Gelenk nicht möglich ist. Natürlich gehen in diese Berechnungen, wie später auch demonstriert wird, einzelne Grundannahmen ein, die die Genauigkeit der Berechnungsverfahren erheblich beeinflussen. Trotzdem ist ein derartiges Vorgehen sinnvoll und notwendig, wenn auf anderen Wegen die Daten nicht ermittelt werden können.

Im folgenden Kapitel soll an zwei einfachen Beispielen beschrieben werden, wie man aus der Messung von äußeren Kräften und weiteren theoretischen Annahmen zur Berechnung von inneren Kräften kommt.

3 INNERE UND ÄUSSERE KRÄFTE

Äußere Kräfte lassen sich durch Waagen oder bestimmte elektronische Meßverfahren ermitteln. In den folgenden zwei Gedanken-Experimenten, die mit den Schülern gemeinsam durchgeführt werden können, reicht als Meßgerät eine Waage aus. Mit ihr läßt sich die Gewichtskraft bei einer statischen Körperposition bestimmen und mit diesem Meßwert lassen sich weitere Berechnungen anstellen. Doch zunächst sollten mit den Schülern einige einfache physikalische Vorkenntnisse entwickelt werden. Dazu kann z.B. durch

eine Zusammenarbeit mit Physiklehrern ein experimentelles Vorgehen gewählt werden.

Das Wippbrett-Prinzip

Für Kinder ist eine Wippe auf dem Spielplatz ein beliebtes Spielgerät. Schon früh lernt man dabei, daß das Wippen nur funktioniert, wenn der gegenüber Sitzende annähernd das gleiche Gewicht hat oder, falls er schwerer ist, näher am Drehpunkt sitzen muß. Dahinter steckt ein einfaches physikalisches Prinzip, das wir experimentell untersuchen wollen.

Experiment: Wir benötigen zwei kleine Kraftmesser (Federwaagen) aus dem Physikunterricht, ein ca. 30 cm langes Rundholz und ein Hardcover-Buch.

Das Rundholz wird im Abstand von 5 cm mit einem Stift markiert. Nun klappt man das Buch auf und stellt es mit dem Buchrücken nach oben auf. Ein Schüler hält das Buch fest. Ein zweiter Schüler befestigt die Federwaagen am Ende des Holzstabes und legt den Holzstab mittig auf das Buch (vergl. Abb. 1). Dann zieht man an den Federwaagen und versucht, die "Wippe" im Gleichgewicht zu halten. Die Federwaagen werden abgelesen und die Werte im Versuchsprotokoll notiert. Bei korrekter Durchführung müssen beide Waagen den gleichen Wert anzeigen.

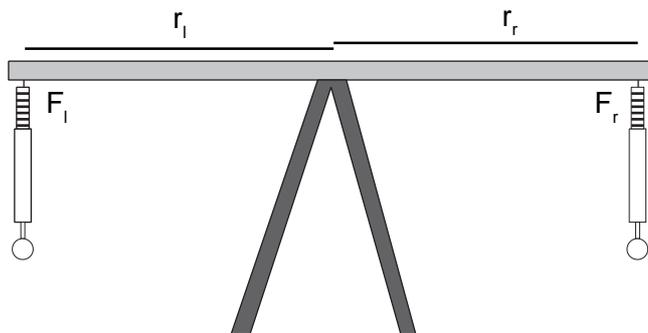


Abb. 1

Das gleich wiederholt man, indem man den Holzstab um 5 cm nach links verschiebt. Wieder wird ein Gleichgewicht hergestellt und die entsprechenden Werte der Federwaage notiert. Zu einem dritten Versuch wird das Holz wiederum um 5 cm verschoben und auch dann die Werte ermittelt.

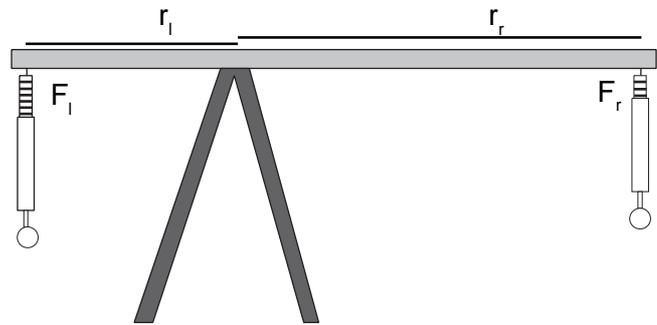


Abb. 2

Die Federwaagen zeigen die Kräfte an, die notwendig sind, um die Wippe im Gleichgewicht zu halten. An beiden Enden der Wippe wirkt eine Kraft über einen entsprechend langen Hebelarm. Multipliziert man die Kraft mit der Länge des Hebelarms, erhält man das Drehmoment, das auf der jeweiligen Seite wirkt.

Das Ergebnis des obigen Experiments läßt sich wie folgt beschreiben: Ein Wippbrett ist nur dann im Gleichgewicht, wenn an beiden Seiten die gleichen Drehmomente wirken. Verringert sich auf der einen Seite der Abstand zum Drehpunkt, muß eine proportional höhere Kraft aufgebracht werden, um den Gleichgewichtszustand aufrecht zu erhalten. Mathematisch bedeutet dies:

$$F_l \cdot r_l = F_r \cdot r_r$$

oder

$$F_l \cdot r_l - F_r \cdot r_r = 0$$

Was bedeutet dies nun im Zusammenhang mit sportlichen Bewegungen?

Gleichgewichtszustände wie die obigen haben wir in vielen statischen Situationen, in denen Kräfte wirken. Nehmen wir als Beispiel den aufrechten Stand und den Sitz auf einem Stuhl. Die wirkenden äußeren Kräfte (Gewichtskraft) kann man einfach mit einer Waage bestimmen. In unserem Beispiel soll der Athlet 80 kg wiegen. Im aufrechten Stand wirken dabei ca. 400 N (Gewichtskraft des Oberkörpers). Um nicht nach vorn zu kippen, muß die Rückenmuskulatur auch ca. 400 N aufbringen. In diesem Fall verläuft die Wirkungslinie der Gewichtskraft und die der Rückenmuskulatur je 5 cm vor bzw. hinter der Wirbelsäule (vergl. Abb. 3). Auf die Bandscheiben, die sich zwischen den Wirbeln befinden, lasten daher 800 N.

Betrachten wir den Sitz auf einem Stuhl, verändert sich die Situation. Die Lotlinie der Gewichtskraft des Oberkörpers wandert nach vorn und erreicht einen Abstand von 15 cm zur Wirbelsäu-

3 Innere und äußere Kräfte

le. Da die Rückenmuskeln weiterhin mit nur 5 cm Abstand zur Wirbelsäule ansetzen, müssen sie in diesem Fall 1200 N erzeugen. Es ergibt sich für die Bandscheiben eine Belastung von 1600 N (vgl. Wipfbrett-Prinzip: gleiche Drehmomente (Kraft * Hebelarm) auf jeder Seite)!

Die von der Rückenmuskulatur aufgebrachte Kraft ist in diesem Fall die innere Kraft. Sie kann, wie in diesem Beispiel, deutlich höher liegen, als die gemessenen äußeren Kräfte.

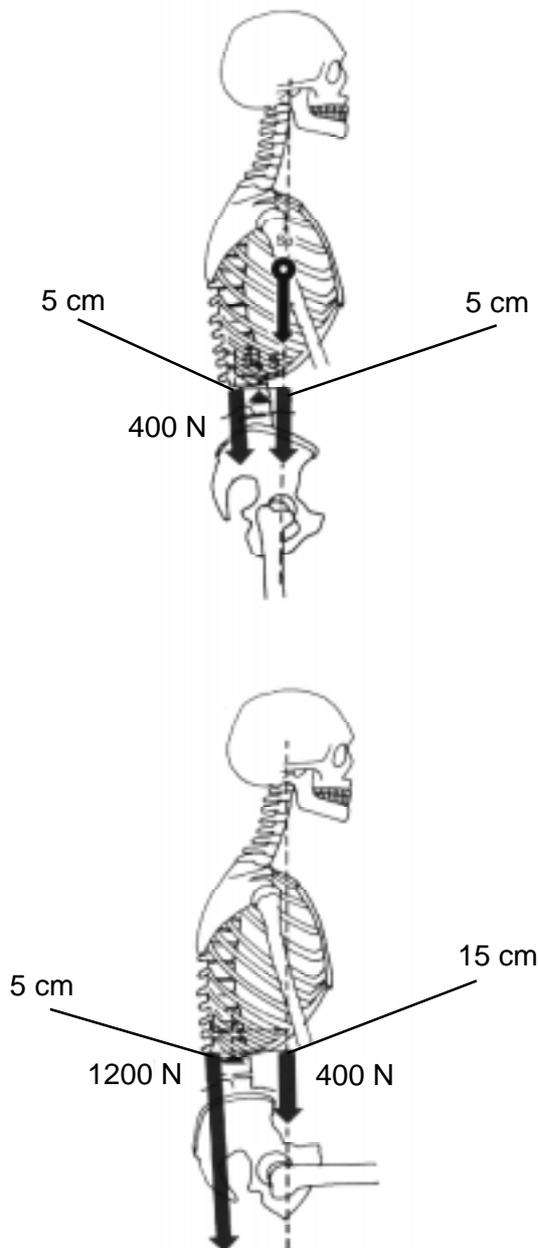


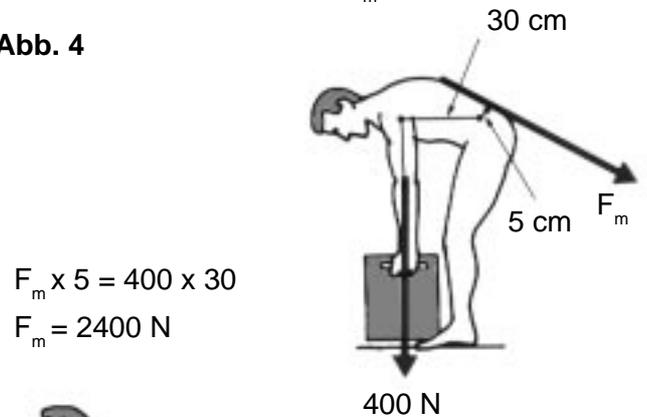
Abb. 3 (modifiziert nach WIRHED 1984, 49)

Im Anschluß an die obige Beschreibung der Situation beim aufrechten Stand soll die Bearbeitung einer ähnlichen Aufgabe erfolgen. Wir benutzen dazu das Anheben eines Gegenstandes als Beispiel:

Aufgabe 1:

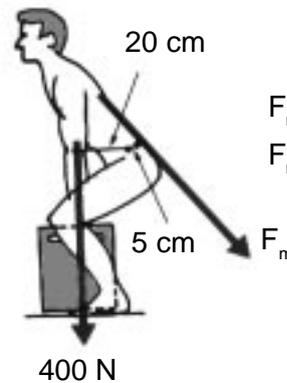
In den folgenden Zeichnungen ist das Anheben bzw. Halten eines Gegenstandes dargestellt. Die Last beträgt 500 N, die entsprechenden Hebelarme sind eingezeichnet. Berechnen Sie die notwendigen Muskelkräfte F_m im Rücken!

Abb. 4



$$F_m \times 5 = 400 \times 30$$

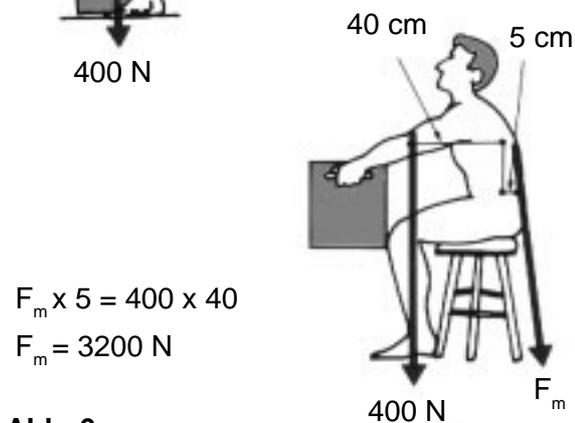
$$F_m = 2400 \text{ N}$$



$$F_m \times 5 = 400 \times 20$$

$$F_m = 1600 \text{ N}$$

Abb. 5



$$F_m \times 5 = 400 \times 40$$

$$F_m = 3200 \text{ N}$$

Abb. 6

Abb. 4-6 (modifiziert nach WIRHED 1984, 49)

Im Anschluß sollen die Schüler die verschiedenen Hebetekniken diskutieren und ihren Zusammenhang zu alltäglichen Bewegungen erkennen (z.B. Getränkekasten ins Auto heben).

Daß die vorgestellte Hebetechnik die Belastung allerdings nur verschiebt, wird im folgenden Beispiel deutlich. Hier soll die Kniebeuge als Bewegung betrachtet werden. Die zweite Hebetechnik (Abb. 5) verringert die Belastung im Rücken, geht aber einher mit einer tieferen Kniebeuge. Die dadurch entstehende Belastung wird in Aufgabe 2 bearbeitet.

Aufgabe 2:

In den folgenden Abbildungen ist eine Kniebeuge dargestellt. Die Gewichtskraft und die Hebelarme sind eingezeichnet. Bestimmen Sie die Muskelkräfte F_m , die die Oberschenkelmuskulatur aufbringen muß.

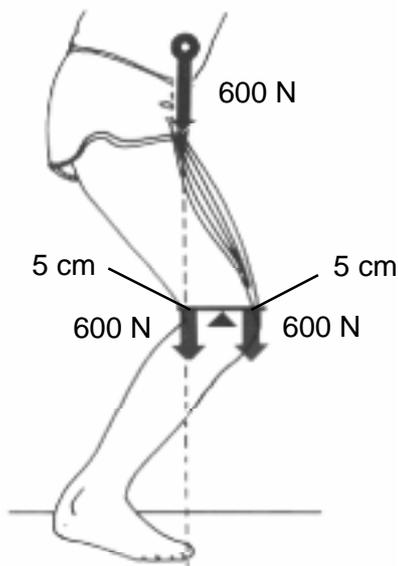


Abb. 7 (modifiziert nach WIRHED 1984, 36)

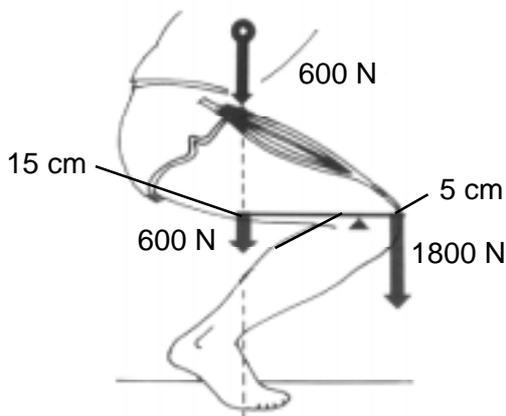


Abb. 8 (modifiziert nach WIRHED 1984, 36)

Die tiefe Kniebeuge führt zu deutlich größeren Lastarmen und damit auch zu vergrößerten Muskelkräften. Die Veränderung der Hebetechnik aus Aufgabe 1 hat demnach zwar eine Verringerung der Belastung in der Wirbelsäule zur Folge, produziert aber höhere Belastungen im Kniegelenk. Insbesondere die Kraft, mit der die Kniescheibe in das Gelenk gedrückt wird, steigt stark an. Dies wird deutlich, wenn man das folgende Kräfteparallelogramm einer tiefen Kniebeuge betrachtet.

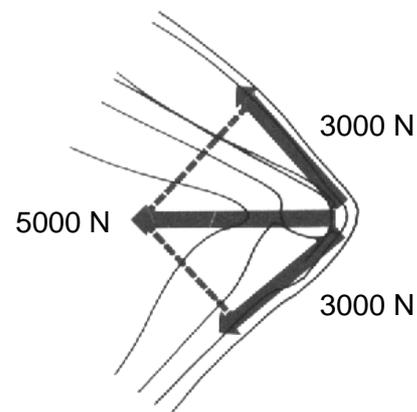


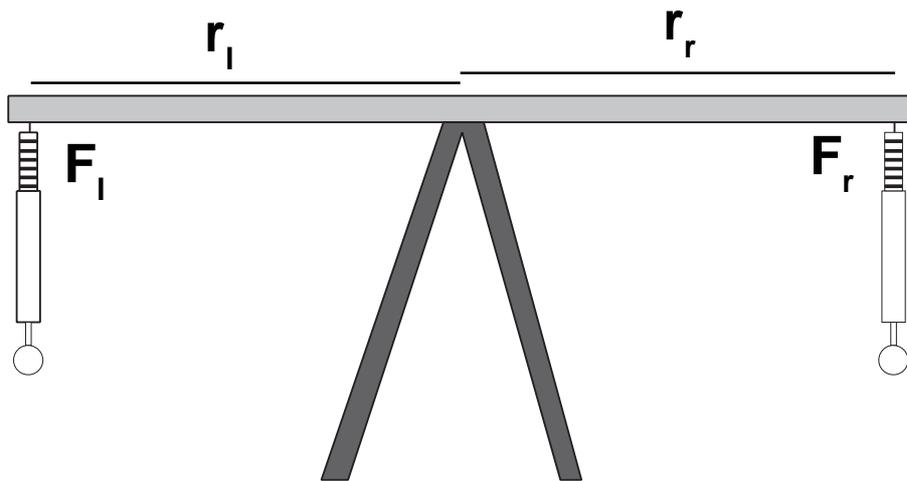
Abb. 9 (modifiziert nach WIRHED 1984, 37)

Die Kniescheibe wird je nach Kniewinkel stark nach innen gezogen und läuft damit Gefahr, geschädigt zu werden. Für die sportliche Praxis heißt dies, daß die tiefe Kniebeuge mit Zusatzlasten sehr hohe Belastungen und Beanspruchungen im Kniegelenk erzeugt und aus der Sicht eines verletzungsvermeidenden Vorgehens nicht sinnvoll erscheint. Trotzdem wird sie in der Sportpraxis aufgrund ihrer hohen Trainingswirksamkeit immer wieder eingesetzt.

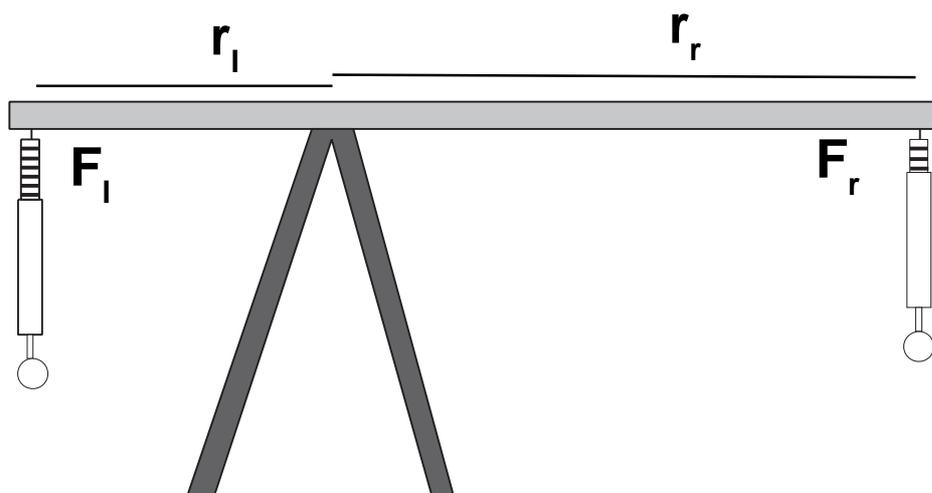
LITERATUR

- WILLIMCZIK, K. (Hrsg.): Biomechanik der Sportarten. Reinbek 1989.
- WIRHED, R.: Sportanatomie und Bewegungslehre. Stuttgart, New York 1984. (Dieses Buch ist zur allgemeinen Vertiefung des Stoffes sehr geeignet!)

Das Wippbrett-Prinzip

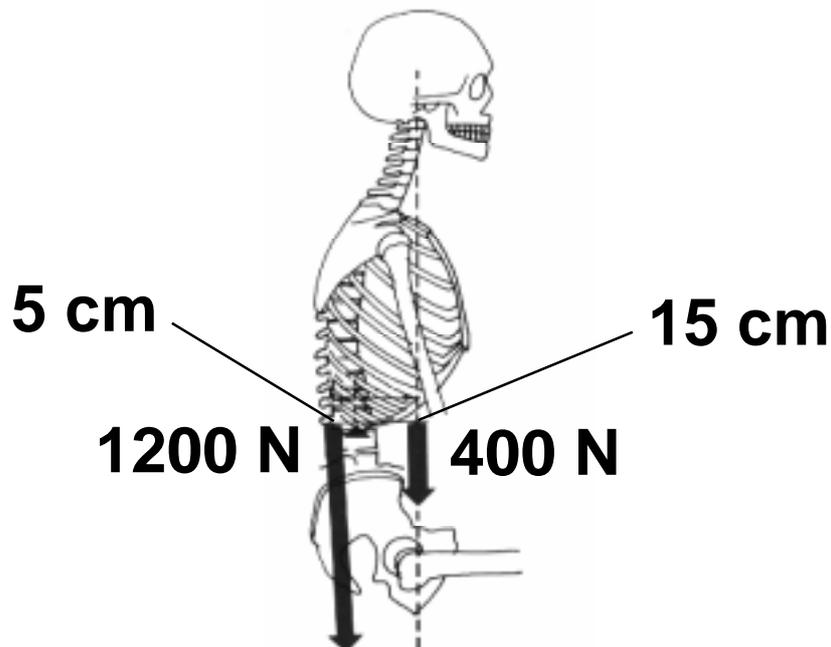
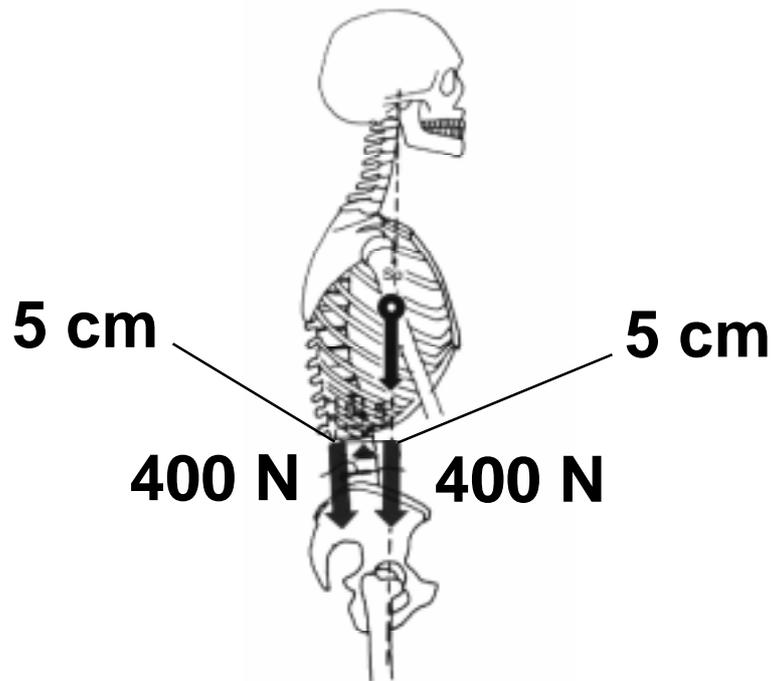


$$F_l * r_l = F_r * r_r$$
$$F_l * r_l - F_r * r_r = 0$$



$$F_l * r_l = F_r * r_r$$
$$F_l * r_l - F_r * r_r = 0$$

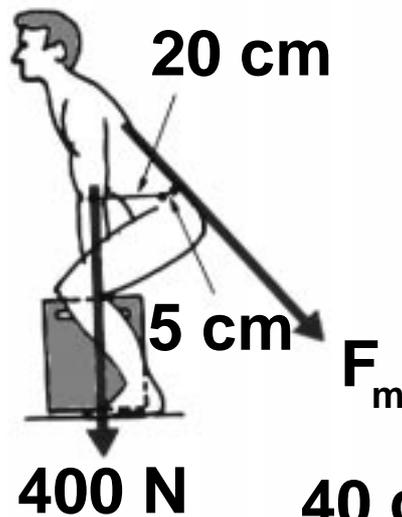
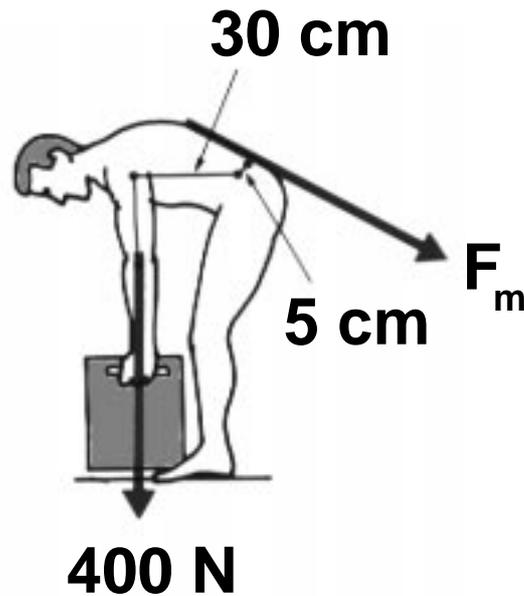
Belastung der Rückenmuskulatur im Stehen und im Sitzen



Belastung der Rückenmuskulatur beim Heben und Halten

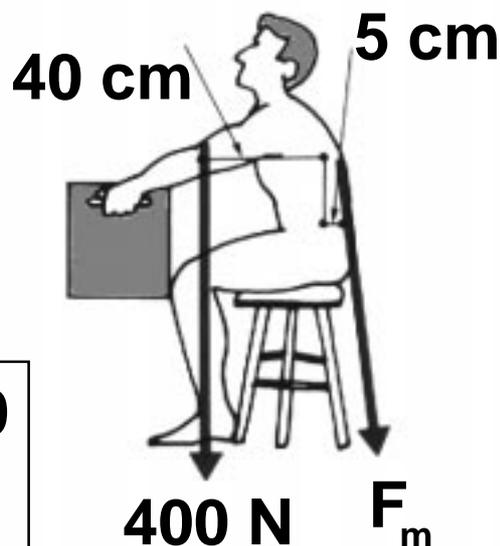
$$F_m \times 5 = 400 \times 30$$

$$F_m = 2400 \text{ N}$$



$$F_m \times 5 = 400 \times 20$$

$$F_m = 1600 \text{ N}$$



$$F_m \times 5 = 400 \times 40$$

$$F_m = 3200 \text{ N}$$

Belastung im Knie bei einer Kniebeuge

(unterschiedliche Kniewinkel)

