

Physik und Medizin

DREHMOMENTE

Teil 1

Statik des menschlichen Arms

Lehrstuhl für Didaktik der Physik
Ludwig-Maximilians-Universität München

Giuseppe Colicchia, Andrea Künzl und Hartmut Wiesner

Physikalisches und medizinisches Hintergrundwissen zur Statik des menschlichen Armes

Anatomie des Muskelapparates am menschlichen Arm

Die Architektur des Muskel- bzw. Knochensystems von Ober- und Unterarm ist in Bild 1 gegeben.

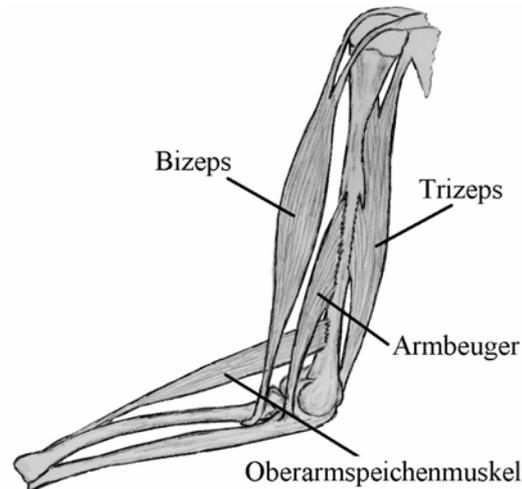


Bild 1: Darstellung der am Arm wirkenden Muskeln.

Vorne am Oberarm sind zwei Beugemuskeln mit unterschiedlich langen Hebelarmen zum Heben der Last ausgebildet, die verschieden weit entfernt vom Ellbogengelenk ansetzen.

Der Muskel *M. biceps brachii* (Bizeps) besitzt einen längeren Kraftarm und muss deshalb eine geringere Kraft ausüben als der *M. brachialis* (Armbeuger), um eine gleich große Last zu halten oder zu bewegen. Der Muskel *M. brachialis* sitzt näher am Gelenk, hat einen kleineren Kraftarm und kann dafür schnellere Bewegungen des Unterarms ausführen.

Am hinteren Oberarm befindet sich der Muskel *M. triceps brachii* (Trizeps), der mit einem ungünstigen Angriffspunkt (kürzerer Kraftarm) für das Senken des Unterarms verantwortlich ist.

Die Funktion des *M. brachioradialis* (Oberarmspeichenmuskel) ist, die Spannungserhöhung im Unterarmknochen, die durch den Zug der Beugemuskeln verursacht wird, entgegenzuwirken (Bild 2) und dadurch die Bruchgefahr bei hoher Belastung zu verringern. (Kraftmoment des Bruches sowohl der Speiche als auch der Elle $20 \text{ N} \cdot \text{m}$ [Kane (1978)]).

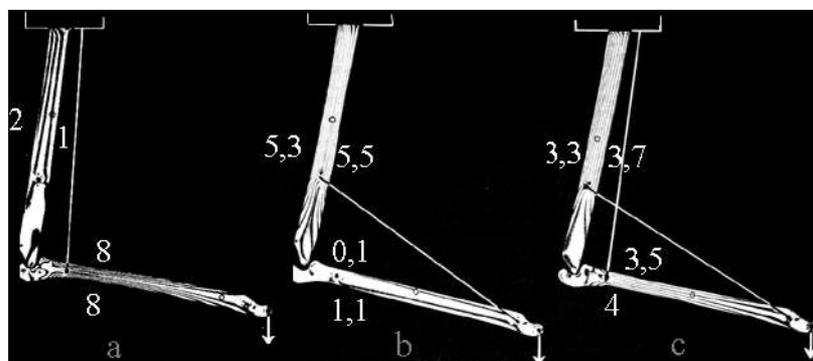


Bild 2: Verursachte Biegebeanspruchung bei gleicher Last durch den Muskel *M. Biceps brachii* (a) und durch den *Brachioradialis* (b). Verbesserung der Spannungsverteilung (c) bei Einwirkung beider Muskeln [aus Benninghoff (1994)].

Wenn der Bizeps allein die Last heben oder halten würde (Bild 2a), würden die Biegespannungen im Bereich des Oberarmknochens gering, aber die Spannung im Bereich des Unterarms groß sein. Umgekehrte Aussagen gelten beim alleinigen Einsatz des M. brachioradialis (Bild 2b). Die ideale Herabsetzung der Biegebeanspruchung ergibt sich bei Einwirkung beider Muskeln (Bild 2c). Im Bild ist nur ein Unterarmknochen dargestellt. In der Realität besitzt der Unterarm zwei parallel zueinander angeordnete Knochen, Elle und Speiche, die eine Drehbewegung des Handgelenks ermöglichen.

Gleichgewicht am Arm

Ein einfaches physikalisches Modell für den Unterarm sieht dann folgendermaßen aus (Bild 3):

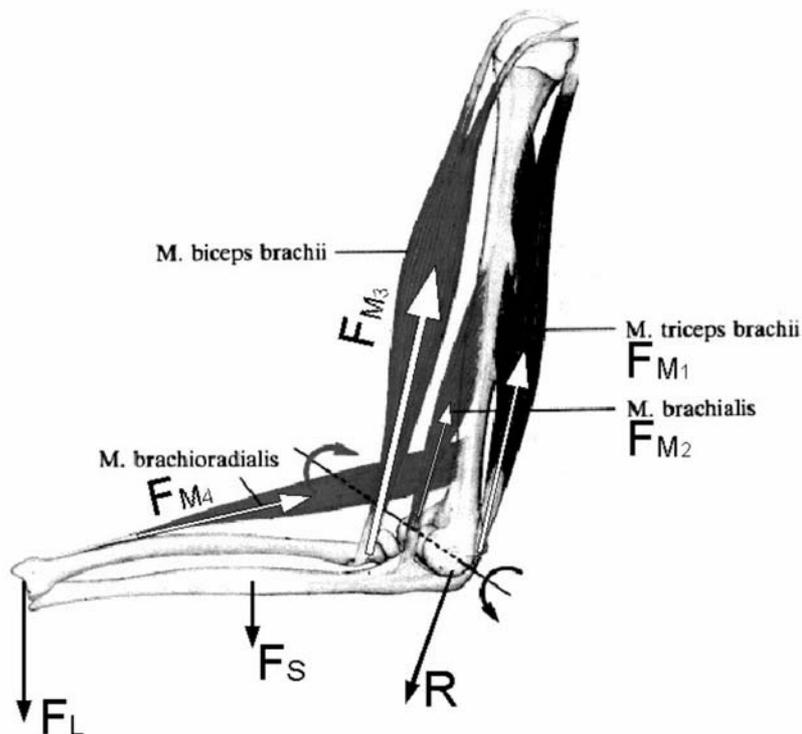


Bild 3: Vereinfachtes Schema eines Armmodells (F_{M1} : M. triceps brachii; F_{M2} : M. brachialis; F_{M3} : M. biceps brachii; F_{M4} : M. brachioradialis; F_S : Gewichtskraft des Unterarms; F_L : Kraft durch die Last; R : Kraft, die das Ellbogengelenk auf den Unterarm ausübt). Die Vektorlängen und die Richtung von R sind nicht maßstabsgerecht.

Das Gleichgewicht besteht dann, wenn die Summe der linksdrehenden Drehmomente gleich der Summe der rechtsdrehenden ist, bzw. wenn gilt:

$$\mathbf{F}_{M1} \times \mathbf{a}_{M1} + \mathbf{F}_S \times L/2 + \mathbf{F}_L \times L + \mathbf{F}_{M2} \times \mathbf{a}_{M2} + \mathbf{F}_{M3} \times \mathbf{a}_{M3} + \mathbf{F}_{M4} \times \mathbf{a}_{M4} = \mathbf{0}.$$

Gleichzeitig muss aber auch für die Summe der Kräfte gelten:

$$\mathbf{F}_{M1} + \mathbf{F}_{M2} + \mathbf{F}_{M3} + \mathbf{F}_{M4} + \mathbf{F}_S + \mathbf{F}_L + \mathbf{R} = \mathbf{0},$$

wobei a_{M1} , a_{M2} , a_{M3} , a_{M4} und L die Kraftarme sind.

In der Schule wird dieses Modell in der Regel auf einen einseitigen Hebel reduziert, an dem nur eine Muskelkraft angreift (Bild 4).

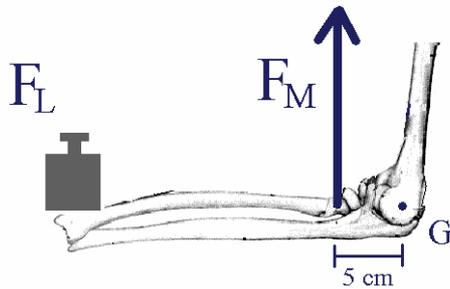


Bild 4: Einarmiger Hebel als Armmodell

Literatur:

BENNINGHOFF A. (1994): Anatomie, München: Urban & Schwarzenberg
KANE J.; Sternheim M. (1978): Life science physics, New York : Wiley
ROHEN T. W. (1995): Funktionelle Anatomie des Menschen, Stuttgart

Bildquellennachweis

Bild 2: Mit freundlicher Genehmigung des Verlags entnommen aus BENNINGHOFF A:
Anatomie, München: Urban & Fischer, 1994, S. 239