

Physik und Medizin

# DREHMOMENTE

Teil 3

## Statik des Kauapparats

Lehrstuhl für Didaktik der Physik  
Ludwig-Maximilians-Universität München

Giuseppe Colicchia, Andrea Künzl und Hartmut Wiesner

# *Physikalisches und medizinisches Hintergrundwissen zur Statik des Kauapparates*

## **Statik des Unterkiefers der Reptilien**

Wenn das Maul eines Krokodils die Beute hält, muss ein Gleichgewichtszustand erreicht sein. Es muss daher sowohl die Summe der Drehmomente (um einen beliebig gewählten Punkt), als auch die Vektorsumme aller Kräfte, die im Unterkiefer wirken, Null sein.

Wenn wir nur die wichtigsten Kräfte betrachten (vgl. Bild 1), gilt:

$$F_K \cdot a_K - F_M \cdot a_M = 0 \quad \text{und} \quad \mathbf{F}_K - \mathbf{F}_M + \mathbf{R} = 0$$

wobei  $\mathbf{F}_K$  die Reaktionskraft beim Zubeißen,  $\mathbf{F}_M$  die Muskelkraft, die für das Schließen des Maules verantwortlich ist, und  $\mathbf{R}$  die vom Gelenk ausgeübte Kraft ist.  $a_K$  und  $a_M$  sind die Kraftarme von den Wirkungslinien der Kräfte  $\mathbf{F}_K$  und  $\mathbf{F}_M$  bezüglich des gewählten Drehpunkts.

Kaukräfte und Belastung am Gelenk hängen im Allgemeinen von der Länge des Unterkiefers ab, aber auch von der Krokodilart. Bei einem jungen Kaiman mit einem ca. 10 cm langen Unterkiefer wird an der Spitze des Mauls eine Kaukraft von bis zu 70 N ausgeübt. Die Belastung am Gelenk beträgt dabei bis zu 250 N [Cleuren (1995)].

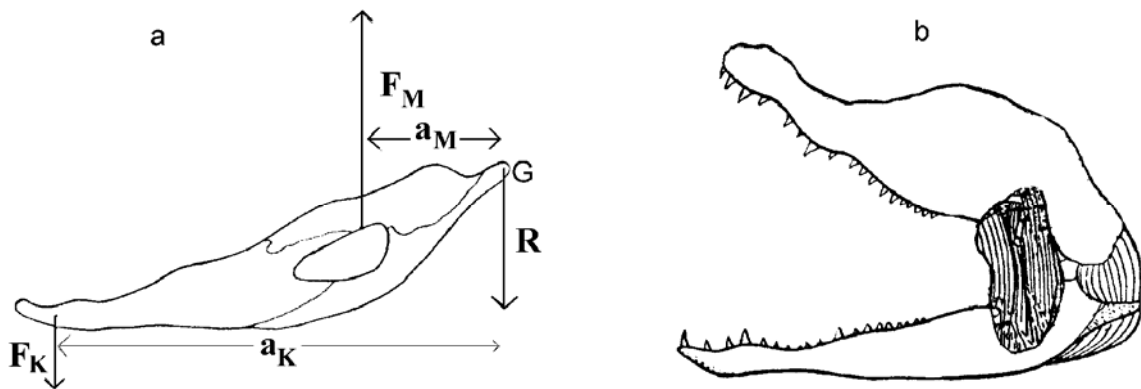


Bild 1: Vereinfachtes Schema von Kaukräften beim Unterkiefer eines Reptils (a), wobei  $\mathbf{F}_K$  die Reaktionskraft,  $\mathbf{F}_M$  die schließende Muskelkraft und  $\mathbf{R}$  die Belastung des Gelenks ist. (b) Muskeln beim Unterkiefer eines Krokodils.

## **Statik des Unterkiefers der Säugetiere**

Die wirkenden Kräfte auf den Unterkiefer eines Säugetieres sind (Bild 2):

- $\mathbf{F}_K$  : Reaktionskaukraft.
- $\mathbf{F}_T$  : M. *temporalis* (Schläfenmuskel), der am *processus coronoideus* anheftet
- $\mathbf{F}_M$  : Muskel M. *masseter* und M. *pterygoideus*, die schräg nach oben-vorne ziehen
- $\mathbf{R}$  : Kraft auf das Gelenk.

Der Betrag des Gesamtdrehmoments um den Drehpunkt G ist  $a_K \cdot F_K - a_T \cdot F_T - a_M \cdot F_M$  und muss gleich Null für den Gleichgewichtszustand sein;  $a_K$ ,  $a_M$  und  $a_T$  sind die Kraftarme der Vektoren vom Gelenk (positive Richtung gegen den Uhrzeigersinn).

Die Reaktionskaukraft  $F_K = (a_T \cdot F_T + a_M \cdot F_M) / a_K$  ist um so größer, je kleiner  $a_K$  ist. Die größten Kaukräfte werden also mit den Backenzähnen ausgeübt.

Die Kraft  $\mathbf{R}$  (Belastung des Gelenks) auf den Drehpunkt ist durch die Vektorsumme aller Kräfte gegeben  $\mathbf{R} = -(\mathbf{F}_K + \mathbf{F}_T + \mathbf{F}_M)$

$\mathbf{R}$  ist nie groß, weil sich immer Teile der Kraftkomponenten  $\mathbf{F}_K$ ,  $\mathbf{F}_T$  und  $\mathbf{F}_M$  aufheben.

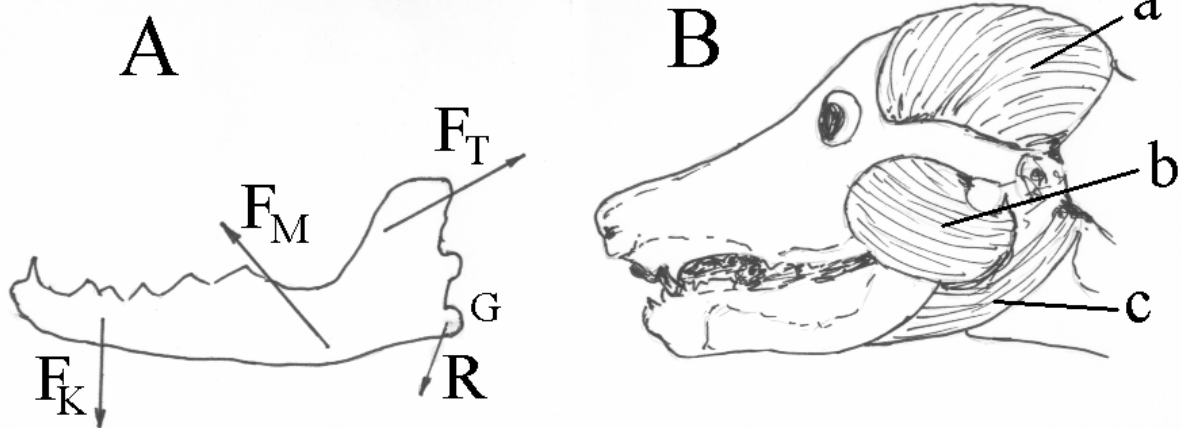


Bild 2: links: Kräfte auf den Unterkiefer eines Säugetieres (Hund). rechts: Muskeln in einem Hundekopf: (a) *M. temporalis*, (b) *M. masseter* und (c) *M. digastricus*, die zur Senkung des Unterkiefers dienen. Die *M. pterygoideus* sind nicht abgebildet, weil sie sich im Inneren befinden

### Statik des menschlichen Unterkiefers

Im Gleichgewicht eines menschlichen Unterkiefers (Bild 3) gelten für die Kräfte, die für Öffnungs- und Schließbewegungen des Unterkiefers verantwortlich sind, die gleichen Formeln wie für Säugetiere:

$$F_K \cdot a_K - F_M \cdot a_M - F_T \cdot a_T = 0 \text{ und } F_K + F_M + F_T + R = 0$$

Bei Menschen liegt die Belastung der Schneidezähne im Mittel um 250 N, die Belastung der Prämolaren (Eckzähne) um 400 N und der Molaren (Backenzähne) um 700 N. Durch Übung können diese Werte auch verdoppelt werden [Schumacher (1990)].

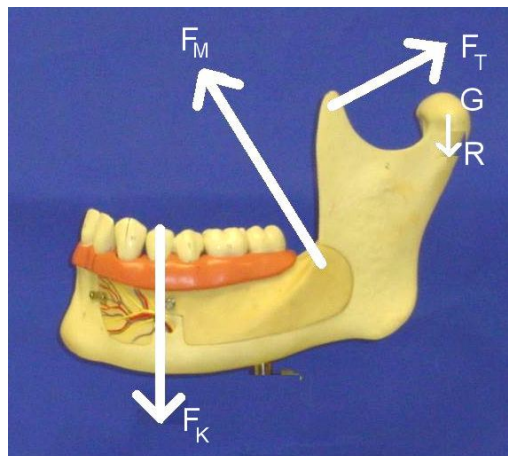


Bild 3: Kaukräfte beim menschlichen Unterkiefer, wobei  $F_K$  die Reaktionskaukraft,  $F_M$  die Kraft durch *M. masseter* und *M. pterygoideus*,  $F_T$  die Kraft durch *M. temporalis* und  $R$  die Belastung des Gelenks ist.

### Physikalische Überlegenheit der Unterkiefer der Säugetiere gegenüber den Reptilien

Um die physikalische Überlegenheit der Unterkiefer der Säugetiere gegenüber den Reptilien zu demonstrieren, nehmen wir den Unterkiefer eines Krokodils und fügen ihm noch einen Knochenfortsatz, den „*processus coronoideus*“, hinzu, so wie ihn die Säugetiere besitzen (Bild 4). Anstelle der großen Muskelkraft  $F_M$ , die das Krokodil einsetzen muss, greifen nun zwei Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  an, deren Angriffspunkte den gleichen Abstand von der Drehachse wie  $F_M$  haben und deren Summe der Beträge gleich  $F_M$  ist.

Die zwei Kräfte  $\mathbf{F}_1$  und  $\mathbf{F}_2$  üben denselben Effekt auf die Rotation aus wie  $\mathbf{F}_M$  (sie haben zusammen dasselbe Drehmoment), und zwar heben sie das Drehmoment der Kraft  $\mathbf{F}_K$  auf. Man kann nun die Richtung der beiden Kräfte so wählen, dass die Vektorsumme  $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_K = 0$  wird, d.h. dass die Resultierende der beiden Kräfte  $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$  gleich groß und entgegengesetzt gerichtet der Kraft  $\mathbf{F}_K$  ist. Damit ist  $\mathbf{R} = 0$ .

Die physikalische Überlegenheit ist klar: Die zwei Kräfte, deren Summe gleich groß ist wie die zu ersetzende, sind anatomisch günstiger, denn sie können denselben Effekt produzieren ohne dass das Gelenk durch eine Kraft  $\mathbf{R}$  belastet wird.

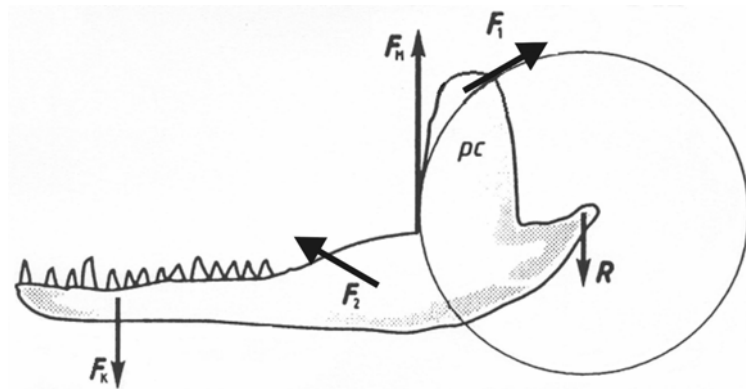


Bild 4: Unterkiefer eines Krokodils versehen mit einem *processus coronoideus* (pc). Die Kräfte  $\mathbf{F}_1$  und  $\mathbf{F}_2$  ersetzen mit dem gleichen Effekt die Kräfte  $\mathbf{F}_M$  und  $\mathbf{R}$ .  $\mathbf{F}_1$ ,  $\mathbf{F}_2$  und  $\mathbf{F}_M$  bilden Tangenten desselben Kreises.

#### Literatur:

- CLEUREN J.; Aerts P.; De Vree F. (1995): Bite and joint force analysis in caiman crocodilus. Belg. J. Zool. – Volume 125, S. 79-94
- IORDANSKI N. N. (1994): The jaw muscles of the crocodiles and some relating structures of the crocodilian skull. Anat. Anz. Dd., S. 256-280 (1964)
- RENSBURG Jansen B. G. van (1994): Mundbiologie. Berlin
- SCHUMACHER G. H. et al. (1990): Anatomie und Biochemie der Zähne. Stuttgart