

Vorschläge zur Unterrichtsdurchführung

Vorkenntnisse: Drehmoment- und Kräftegleichgewicht sollten bekannt sein.

Vorbereitung des Materials

Kopiervorlagen zum Ausschneiden der Modelle befinden sich am Ende dieser Vorschläge zur Unterrichtsdurchführung. Aus Balsaholz (8 – 10 mm dick) wird entsprechen der Vorlage ein Armmodell ausgeschnitten oder ausgesägt. An der gekennzeichneten Stelle wird eine Metallhülse in eine entsprechende Bohrung eingeklebt, die ein stabiles Drehlager liefert. Die Oberkiefer werden jeweils fest installiert, die Unterkiefer drehbar aufgehängt.

Schritt 1: Einführung

Der Lehrer gibt eine Einführung über die Evolution der Kauapparate von den primitiven Tieren bis zu den Säugetieren bzw. den Menschen. Da die ganze Einheit auf dem Aufbau der Unterkiefer basiert, sollte dabei hervorgehoben werden, dass die Verkürzung des Unterkiefers und das Hinzukommen des processus coronoideus wesentlich für die Entwicklung der heute vorliegenden Unterkiefer der Säugetiere war. Im Laufe der Zeit haben sich die Tiere ihrer Umgebung angepasst, alle Körperteile bilden in der Regel eine zum Überleben optimale Struktur aus. Die Entwicklung des Gebisses ist mit verschiedenen Faktoren, wie der Nahrungsaufnahme, der Art der Nahrung und ihrer Verarbeitung eng korreliert, welche eine bestimmte Form und Größe der Kieferknochen bewirkt haben.

Bei den frühen, primitiven Landtieren war nur ein flacher Unterkiefer vorhanden, der aus vielen kleinen Knochen aufgebaut war. Er besaß nur einen großen Kieferschließmuskel, der für das Schließen des Maules verantwortlich war. Mit der Zeit formte sich aus den diversen Unterkieferknochen ein großer, zusammenhängender Knochen (Dentale) und am hinteren Ende des Unterkiefers ein höckerförmiger Knochenfortsatz (processus coronoideus). Aus dem ursprünglichen, großen Kiefermuskel bildeten sich viele Muskeln, die in unterschiedlichen Richtungen angreifen.

Die Evolution der Kiefer ermöglichte eine bessere Nutzung unterschiedlicher Nahrungsarten. Das Ziel dieser Einheit ist, den Schülerinnen und Schülern zu zeigen, dass die Unterkiefer der heutigen Säugetiere physikalisch günstiger gestaltet sind als die Unterkiefer der Tiere in prähistorischer Zeit oder als die Unterkiefer der säugetierähnlichen Reptilien.

Schritt 2: Gleichgewicht beim Krokodilunterkiefer – Belastung des Gelenks

Nach der Einführung in Schritt 1 wird anhand einer Folie diskutiert, welche Kräfte auf den Unterkiefer des Krokodils während des Zubeißens einwirken.

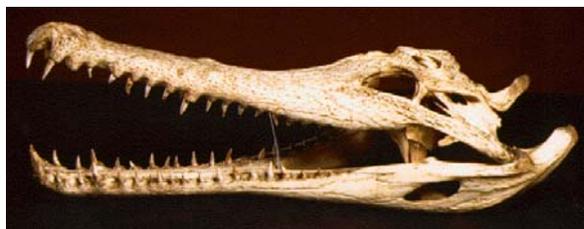


Bild 1: Schädel eines Krokodils (aus dem Museum der vergleichenden Anatomie, Bologna)

Diese Kräfte können mit Hilfe eines Modells, das man relativ leicht aus Sperrholz oder besser Balsaholz aussägt und an einem Rahmen befestigt, veranschaulicht werden (vgl. „Vorbereitung des Materials“).

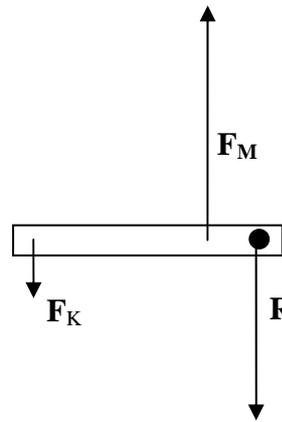
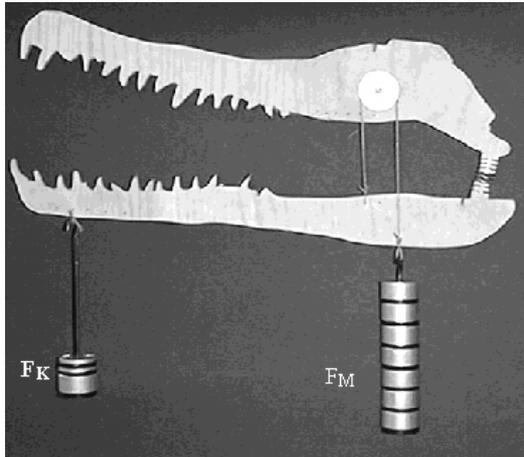


Bild 2: Modell zur Veranschaulichung von Kräften am Krokodilunterkiefer.

\mathbf{R} ist die Reaktionskraft, die das Gelenk nach unten ausübt, \mathbf{F}_K die Kraft, die das Fleisch nach unten ausübt und \mathbf{F}_M die Kraft, die der Kaumuskel nach oben ausübt.

An dieser Stelle kann das Hebelgesetz ein weiteres Mal geübt werden.

Zahlenbeispiel:

Für ein ausgewachsenes Krokodil mit einer Gesamtlänge von ca. 3 m gilt: $a_K = 50 \text{ cm}$; $a_M = 10 \text{ cm}$. Wählt man z.B. $F_K = 70 \text{ N}$, so ergibt sich:

$$F_K \cdot a_K = F_M \cdot a_M$$

$$70 \text{ N} \cdot 50 \text{ cm} = F_M \cdot 10 \text{ cm} \Rightarrow F_M = 350 \text{ N}$$

$$\text{Für die Gelenkbelastung erhält man: } \mathbf{R} = -(\mathbf{F}_M + \mathbf{F}_K) \Rightarrow R = 280 \text{ N}$$

Die Kraft auf das Gelenk ist das Vierfache der Kaukraft!

Mit Hilfe des Modells und der Rechnung wird deutlich, dass auf das Gelenk eine große Kraft wirkt. Die Belastung des Gelenks hängt von F_K , F_M und ihren Entfernungen von dem Gelenk ab. Es ist klar, dass ein wenig oder gar nicht belastetes Gelenk günstiger ist (Abnutzung, Materialersparnis etc.).

Bei einem realen Krokodilunterkiefer liegen die Angriffspunkte der Kräfte nicht auf einer Linie. Zur Vereinfachung darf weiterhin angenommen werden, dass Kraft- und Hebelarme zueinander senkrecht sind.

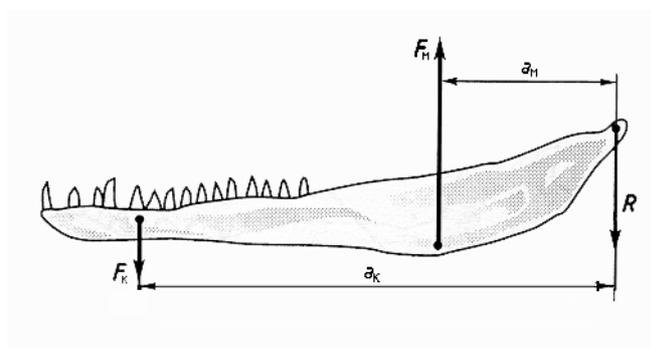


Bild 3: Einwirkende Kräfte auf den Krokodilunterkiefer beim Zubeißen

Um den Schülern die Verlagerung des Angriffspunktes verständlich zu machen wird die Drehmomentscheibe verwendet.

Schritt 3: Vergleich der Unterkiefer von Krokodil und Mensch – Reduktion der Gelenkbelastung

Vergleicht man den Schädel eines Krokodils mit dem eines Menschen so stellt man fest, dass der menschliche Unterkiefer einen „Höcker“, den *processus coronoideus*, hat.



Bild 4: Schädel eines Menschen

Im Folgenden wird thematisiert, welche Vorteile dieser Knochenfortsatz bringt. Dazu muss man den Schülerinnen und Schülern auch mitteilen, dass bei den Säugetieren nicht nur ein einzelner Muskel für das Schließen des Kiefers verantwortlich ist (vgl. Bild 2 der Lehrerinformation).

Die Bilderfolge in Bild 5 zeigt, wie sich das Vorhandensein eines *processus coronoideus* und das Angreifen zweier Schließmuskeln auf die Gelenkbelastung beim Krokodilunterkiefer auswirken.

An einer Magnettafel werden Ober- und Unterkiefer, der *processus coronoideus* und die Kraftpfeile aus Tonpapier, bzw. dünnem Holz befestigt. Nun betrachtet man in mehreren Schritten, wie sich die Kraft auf das Gelenk verändert, wenn die beiden Kräfte in unterschiedlichen Winkeln angreifen. In höheren Klassen der Mittelstufe kann dies als Vertiefung formal erarbeitet werden. Eine einfachere Behandlung kann qualitativ anhand dieser Bildfolge erfolgen.

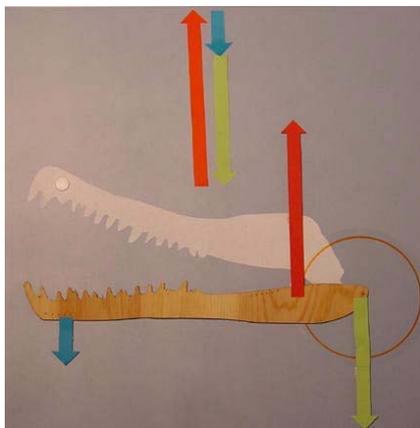


Bild 5a: An einem Krokodilunterkiefer angreifende Kräfte. Es herrscht ein Drehmomentengleichgewicht und ein Kräftegleichgewicht. Die Gelenkbelastung ist hoch.

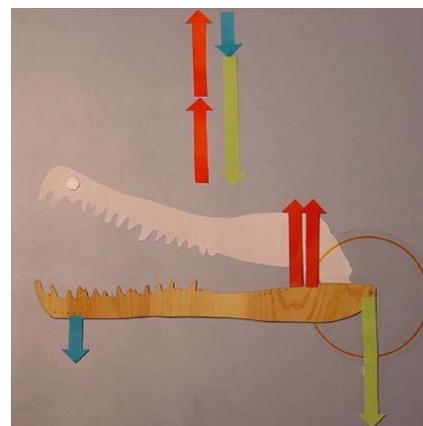


Bild 5b: Die Muskelkraft wurde in zwei gleich große Kräfte zerlegt, dies ändert nichts an der Gelenkbelastung.

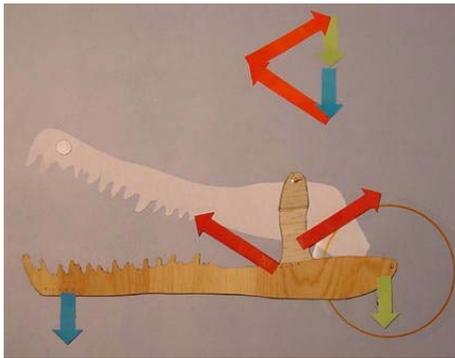


Bild 5c: Dem Krokodilunterkiefer wird ein processus coronoideus angefügt. Man verschiebt die beiden Kraftpfeile, so dass ihre Wirkungslinien den gleichen senkrechten Abstand vom Gelenk beibehalten (die Wirkungslinie wird dann Tangente an den Kreis, dessen Radius gleich dem Kraftarm ist). Dann bleibt das Drehmoment gleich (nur der Angriffspunkt wurde verändert, Kraft und Kraftarm bleiben gleich). Addiert man die Kraftvektoren so stellt man fest, dass die Gelenkbelastung geringer wird.

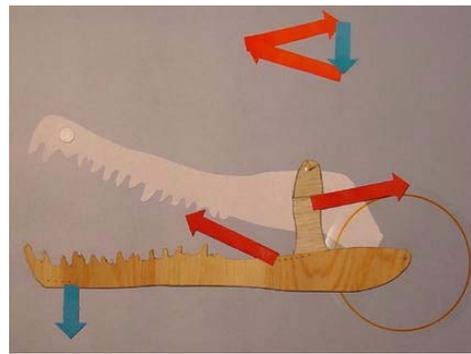


Bild 5d: Verschiebt man die Kraftpfeile noch weiter (die Wirkungslinien bleiben weiterhin Tangenten an den Kreis), bleibt das Drehmomentgleichgewicht erhalten. Es kann der Punkt erreicht werden, in dem die Gelenkbelastung verschwindet.

Modellversuch zur Demonstration der Gelenkbelastung ohne und mit processus coronoideus

Eine weitere Möglichkeit, die Abnahme der Gelenkbelastung durch Hinzufügen eines processus coronoideus und das Angreifen zweier Schließmuskeln zu zeigen, bietet das Modell in Bild 6.

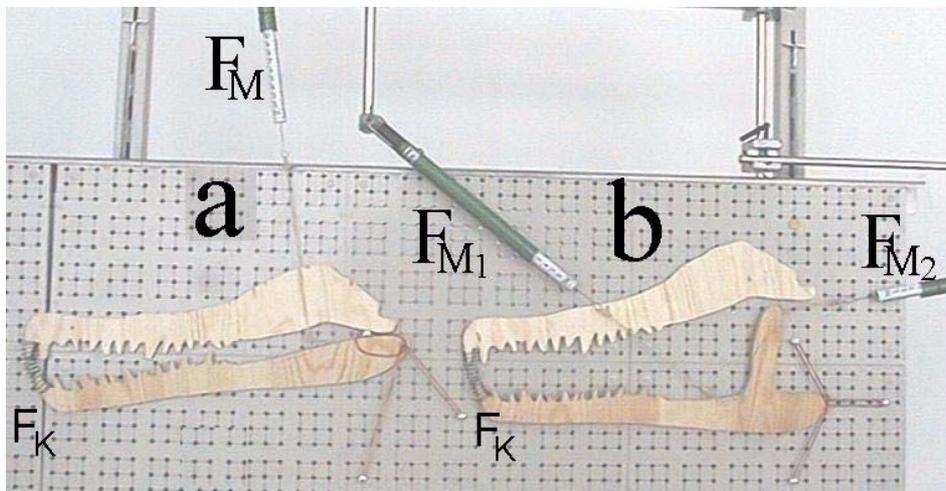


Bild 6 Modell eines Krokodilmaules (a) und Krokodilmaul mit processus coronoideus (b).

Die Kaukraft ist durch eine Druckfeder (F_K), die große Muskelkraft, die den Unterkiefer nach oben zieht, durch einen Kraftmesser (F_M) und die Belastung auf das Gelenk (G) durch drei Gummibänder dargestellt. Der Oberkiefer ist am Rahmen fest fixiert, daher spielt er keine Rolle.

Die drei Gummibänder greifen an dem Gelenk des Modells an und sind im unbelasteten Zustand gleichlang und haben jeweils einen Winkel von 120° zueinander. Bei Belastung des Gelenks ändern sich die Winkel und die Längen.

Modellversuch zum Vergleich der Gelenkbelastung bei Krokodil und Mensch (optional)

Der Vergleich der Gelenkbelastung von Krokodil und Mensch kann ebenfalls mit Hilfe eines Modells veranschaulicht werden (Bild 7). Die Belastung wird jeweils durch die Feder veranschaulicht.

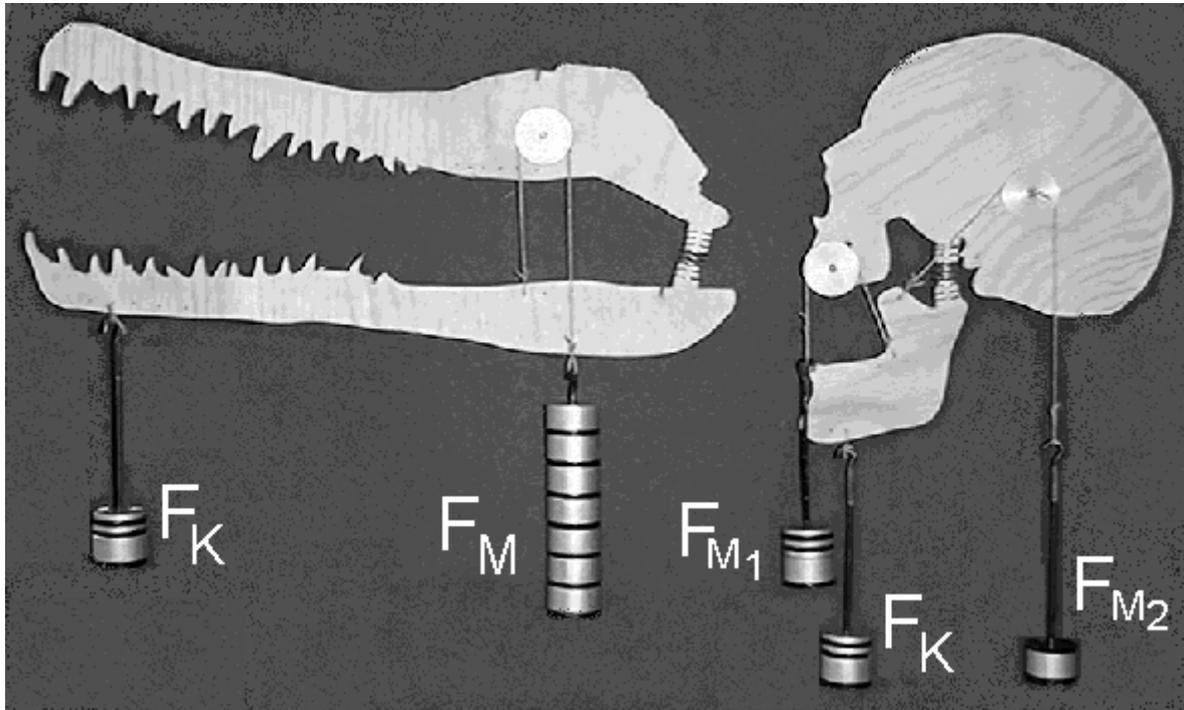


Bild 7: Modelle zum Vergleich der Kaukräfte von Krokodil und Mensch

Die Schülerinnen und Schüler sehen, dass bei gleicher Kaukraft F_K , die Belastung im „menschlichen“ Gelenk kleiner ist und dass sie fast Null sein kann, wenn F_{M1} und F_{M2} bestimmte Richtungen und Werte haben.

Die Funktion des menschlichen Unterkiefers entspricht im Prinzip dem des Krokodilunterkiefers mit hinzugefügtem processus coronoideus.

