



## **Konstruieren nach dem StartlearnING-Prinzip**

### **-Fake-Arm-**

#### **Handreichung für Lehrkräfte**

---

Im Rahmen der Unterrichtseinheit soll durch einen vernetzten Zugang aus Biologie und Technik das Interesse am technischen Konstruieren eines Fake-Arms geweckt werden. Das problemorientierte, selbstorganisierte Lernen leitet den Unterricht. Die Unterrichtseinheit verfolgt im Wesentlichen die nachfolgenden Ziele:

- Entwicklung einer technischen Lösung für ein Problem aus der Alltagswelt
- Planung und Bau eines funktionstüchtigen Arms
- Identifikation, Analyse und Korrektur der Fehler beim Bauen
- Erfolgreiche Kommunikation miteinander
- Schulung der Problemlösungskompetenz

<b>I Technisches Konstruieren im Unterricht</b>	<b>1</b>
Konstruieren im Unterricht - Herausforderungen und Chancen	1
Verknüpfung von Biologie und Technik	2
Arbeitsweise beim Konstruieren	2
<b>II Konstruieren nach den startlearnING-Prinzip</b>	<b>3</b>
1 Problemstellung klären	4
2 Hauptfunktionen klären	5
3 Ideenfindung	6
4 Materialauswahl	6
5 Erkundungs- und Konstruktionsphase	6
6 Vorstellung aktueller Stand	7
7 Konstruktionsphase	7
8 Funktionstest und Optimierung	8
9 Abnahme	8
10 Präsentation und Reflexion	8
<b>III Einzel oder Gruppenarbeit</b>	<b>9</b>
<b>IV Das biologische Phänomen als Ideengeber für den Konstruktionsprozess</b>	<b>10</b>
1. Bewegung und ihre Ursachen	10
2. Aufbau der Muskulatur	10
3. Wie ein Muskel kontrahiert	11
4. Durch Muskeln erzeugte Bewegung bei unterschiedlichen Skelettypen	11
5. Der Ellbogen und das Ellbogengelenk	13
6. Gelenke als Schlüsselstellen für Bewegung	14
7. Das Insektenbein - Konsequenzen eines Exoskeletts	15
8. Konsequenzen von hydrostatischen Skeletten	16
<b>V Stundentafel</b>	<b>20</b>
<b>VI Unterrichtstabellen</b>	<b>21</b>
1. Doppelstunde (Einführung)	21
2. Doppelstunde: Einzelstunde Insektenbein + Einzelstunde hydrostatische Skelette	22
1. Doppelstunde Konstruktion	24
2. Doppelstunde Konstruktion	25
Einzelstunde Reflexion und Präsentation	26
<b>VII Praxistipps und -beispiele für den Unterricht</b>	<b>27</b>
<b>VIII Beurteilung der Schülerleistungen</b>	<b>31</b>
<b>IX Anhang</b>	<b>35</b>

## I Technisches Konstruieren im Unterricht

Die Frage ist, was es mit „startlearnING“ auf sich hat. Der Name unseres Projekts versucht das, was wir tun, prägnant zusammenzufassen und setzt sich aus den folgenden Bausteinen zusammen:

- **start:** Das Projekt ist auf allgemeinbildenden Unterricht ab Klasse 3 ausgerichtet. Es findet also bei den „Startern“ statt.
- **learn:** Es handelt sich um ein Bildungsprojekt, in dem das Lernen im Vordergrund steht.
- **ING:** Das Projekt orientiert sich an der Arbeitsmethodik von Ingenieurinnen und Ingenieuren. Die Schülerinnen und Schüler tauchen in das systematische Konstruieren und Entwickeln ein.

### Konstruieren im Unterricht – Herausforderungen und Chancen

Wenn etwas ohne Bauanleitung oder Anleitung gebaut werden soll, um ein Problem zu lösen oder ein Bedürfnis zu erfüllen, dann wird konstruiert.

Da es für die meisten Probleme mehr als eine Lösung gibt, ist es absolut wesentlich, unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zuzulassen. Selbst wenn sich die erdachte Lösungsmöglichkeit als Fehler erweist, gilt es diese auszuwerten und das ursprüngliche Konstruktionsvorhaben gegebenenfalls abzuändern. Nur so werden gute Ergebnisse erzielt.

Die Fähigkeit, Fehler zu erkennen, zu analysieren und notwendige Änderungen daraus abzuleiten (und umzusetzen), ist ein elementares Lernziel. Es kann nur erreicht werden, wenn die ersten Entwürfe getestet, reflektiert und optimiert werden. Frustrationstoleranz ist dabei essenziell, denn auch die erfahrensten Konstrukteur\*innen verbringen mindestens die Hälfte ihrer Arbeitszeit mit diesen Tätigkeiten.

Das Arbeiten ohne genaue Anleitung kann für Schülerinnen und Schüler ungewohnt oder sogar verunsichernd wirken, weil sie „alles richtig machen“ wollen. Diese Haltung kann zu Hemmungen führen, wenn es darum geht, das Problem anzupacken. Das Arbeiten mit kostenlosen Haushalts-Verbrauchsmaterialien kann jedoch helfen, die Hemmschwelle zu senken und neue Wege auszuprobieren. Durch die leichte Verfügbarkeit der Materialien kann, unabhängig vom Budget der Schule oder der Schüler\*innen, damit gearbeitet werden und Kinder aus allen Gesellschaftsbereichen können auch zu Hause konstruieren, wenn sie interessiert sind.

Eine weitere ungewohnte Komponente ist die Tatsache, dass Kinder möglicherweise gute Lösungen finden, ohne deren Wirkungszusammenhang erklären zu können. Was hier aus naturwissenschaftlicher Perspektive befremdlich anmutet, ist für Ingenieur\*innen und auch aus technikdidaktischer Sicht nicht wesentlich, solange die Lösung unter den gegebenen Bedingungen immer zuverlässig funktioniert. Bis heute werden selbst in sehr teuren Maschinen Effekte genutzt, die bisher kein\*e Physiker\*in umfassend erklären kann. Also sollte man auch im Unterricht davor keine Angst haben. Vielmehr gilt es, dies als Chance zu begreifen: Das Wissen um ein Phänomen kann bereits ausreichen, um Problemstellungen zu lösen.

Diese Besonderheiten führen zu spezifischen Herausforderungen für alle Beteiligten.

Für die Lehrkräfte bestehen die nachfolgenden Herausforderungen:

- Gleichzeitige Betreuung verschiedener Lösungswege (mit absehbaren Fehlschlägen)
- Aufzeigen des Weges zu einer einfachen Lösung bei feinmotorischen Defiziten
- Zulassen von Umwegen und Fehlschlägen und deren konstruktive Auswertung
- Aufgabenstellung ohne Musterlösung
- Bewertung eines Produkts in Bezug auf dessen Funktion und nicht in Bezug auf Ästhetik oder Komplexität
- Führung der Schüler\*innen hin zu einem funktionierenden Ergebnis, ohne ihre Begeisterung zu bremsen und ihre Kreativität mehr als nötig einzuschränken
- Unterstützung: so wenig wie möglich und so viel wie nötig

Die Schülerinnen und Schüler stehen vor diesen Herausforderungen:

- Umgang mit vielen Lösungsmöglichkeiten aufgrund der offenen Konstruktionsaufgabe
- Mut etwas zu bauen, was möglicherweise schon beim ersten Funktionstest kaputtgeht
- Erkennen eigener Fehler und Ableitung entsprechender Konsequenzen
- Entwicklung von Ideen ausschließlich anhand von Vorlagen (aus Biologie, Alltag oder der Klasse)
- Aushalten von Frustration bei Fehlversuchen
- Realisierung und Test der notwendigen Funktionen, bevor viel Arbeit in Zusatzfunktionen (etwa Zusatzgadgets oder Verschönerungen) investiert wird.

Lehrkräften und Schüler\*innen bieten sich aber auch eine Reihe von Chancen:

- spannend-herausfordernder Unterricht,
- problemorientiertes Erarbeiten biologischer und technischer Themen führt zu nachhaltigen Lernerfolgen,
- gemeinsame Lösungssuche und Stolz auf die Ergebnisse führt zu bleibenden, positiven Unterrichtserlebnissen.

### **Verknüpfung von Biologie und Technik**

Bei startlearnING lernen Schüler\*innen technisches Konstruieren auf der Grundlage biologischer Phänomene, die an eine technische Problemstellung aus der Lebenswelt der Schüler\*innen gekoppelt werden. Die Verknüpfung von Biologie und Technik ist ein ganz wesentlicher Baustein von startlearnING.

### **Arbeitsweise beim Konstruieren**

Anlehnend an die Arbeitsweise von Ingenieur\*innen haben wir eine umsetzbare schüler- und schülerinnenorientierte Arbeitsweise entwickelt, die wir im sogenannten startlearnING-Prinzip beschreiben und in dessen Mittelpunkt die phasenorientierte Konstruktionsmethodik steht.

## II Konstruieren nach dem startlearnING-Prinzip

Der schüler\*innenorientierte Lernprozess nach dem startlearnING-Prinzip hat diese Merkmale:

1. Das Konstruieren erfolgt systematisch analog zur Vorgehensweise von Ingenieuren.
2. Problemstellungen aus der Lebenswelt sind Grundlage für technische Konstruktionen.
3. Das Konstruieren erfolgt ohne Lösungsvorgabe.
4. Naturwissenschaftliche Phänomene sind Ideengeber für technische Konstruktionen.
5. Das Konstruieren erfolgt mit einfachen Werkzeugen und Alltagsmaterialien.
6. Gute Konstruktionen erfordern Kommunikation.
7. Gute Konstruktionen funktionieren unabhängig vom Aussehen.
8. Fehler werden als Katalysatoren des Lernprozesses betrachtet.

Abb. 1: Merkmale des startlearnING-Prinzips

Zu den einzelnen Punkten:

1. Das Konstruieren erfolgt systematisch analog zur Vorgehensweise von Ingenieuren: Das ist das Herzstück des startlearnING-Prinzips und mündet in das nachstehend abgebildete Flussdiagramm.
2. Problemstellungen aus der Lebenswelt sind Grundlage für technische Konstruktionen: Aus dem Alltagsbezug erwächst die Motivation, sich mit der Problemstellung auseinanderzusetzen.
3. Das Konstruieren erfolgt ohne Lösungsvorgabe: Nach Anleitung konstruieren geht nicht, das ist Nachbauen und stellt eine intensive Auseinandersetzung mit dem Problem keineswegs sicher.
4. Naturwissenschaftliche Phänomene sind Ideengeber für technische Konstruktionen: Hier liegt der Schwerpunkt auf der Biologie. Biologische Phänomene zeigen, wie Problemstellungen in der Natur gelöst wurden. Darüber hinaus ist gerade Schülerinnen ein großes Interesse daran anzumerken.
5. Das Konstruieren erfolgt mit einfachen Werkzeugen und Alltagsmaterialien: Letztlich müssen technische Konstruktionen nicht teuer sein. Wir wollen aufzeigen, was mit einfachen Materialien, zu denen jeder Zugang hat, möglich ist.
6. Gute Konstruktionen erfordern Kommunikation: Hier geht es darum, voneinander zu lernen und Fragen zu stellen. Auch wenn Schülerinnen und Schüler durchaus allein konstruieren dürfen.
7. Gute Konstruktionen funktionieren unabhängig vom Aussehen: Wenn eine Lösung/ Konstruktion funktioniert, dann ist das Ziel erreicht. Das Aussehen ist aus Sicht des Ingenieurs eher nicht relevant.
8. Fehler werden als Katalysatoren des Lernprozesses betrachtet: Aus Fehlern lernen die Kinder. Wir lassen sie bewusst Fehler machen und greifen nicht im Vorfeld ein.

Für das phasenorientierte Vorgehen für das Konstruieren nach dem startlearnING-Prinzip wurde ein Flussdiagramm entwickelt (Abb. 2). Zur Zielerreichung müssen alle Phasen durchlaufen werden. Es werden jedoch verschiedene Optimierungs- und Rückversicherungsschleifen notwendig sein. Das gehört zu einem Konstruktionsprozess dazu. Deshalb kann jederzeit von einer Phase zu allen vorgelagerten Phasen zurückgesprungen werden. Das Flussdiagramm kann also als grundsätzlicher Leitfaden für das Konstruieren mit Schülerinnen und Schülern verstanden werden, der dabei helfen soll, kreativ zu arbeiten, ohne das Ziel aus den Augen zu verlieren.

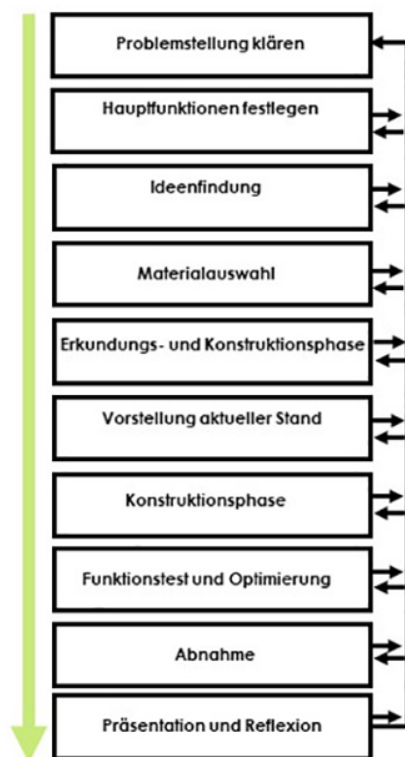


Abb. 2: Konstruktionsmethodik nach dem startlearnING-Prinzip: 10 Arbeitsphasen

Nachfolgend gehen wir auf jede Arbeitsphase detailliert ein und bilden dabei den direkten Bezug zur Konstruktion des Fake-Arms:

### 1 Problemstellung klären

Zunächst muss möglichst genau geklärt werden, welches Problem besteht und was die Konstruktion leisten muss. Wir benötigen einen künstlichen Arm, der besser funktioniert als die Frühstücksmaschine aus dem Video (<https://www.youtube.com/watch?v=E2evC2xTNWg>).

*Vor den Schüler\*innen reden wir nicht von einem Fake-Arm, sondern von einer Fütter-Maschine. So agieren die Schüler\*innen viel lösungsoffener und erstellen durchaus auch Konstruktionen, die kaum mehr an einen Arm erinnern, aber sehr wohl das Problem lösen. Bei „Hauptfunktionen festlegen“ nutzen wir die Schülersprache (weil schülernah), bleiben aber sonst zumeist bei der Bezeichnung „Fake-Arm“.*

Die tragbare Maschine soll einen am Tisch sitzenden Menschen mit einer Weintraube füttern. Die Weintraube wird mit einer Gabel aufgespießt (dies geschieht per Hand!). Die Gabel wird von einem am Arm befestigten Magneten gehalten. Die Maschine muss die Gabel aufnehmen, hochheben und zum Mund führen können. Dabei soll die Gabel gezogen, geschoben oder mit einem anderen Mechanismus bewegt werden.

## 2 Hauptfunktionen festlegen

Wenn wir das Problem verstanden haben, müssen wir festlegen, was die Konstruktion können muss.

Hier wird zwischen den absolut notwendigen Funktionen und den sinnvollen/möglichen Zusatzfunktionen der Konstruktion unterschieden. Unter Hauptfunktionen versteht man alles, was die Konstruktion unbedingt können muss, um das Problem zu lösen.

Zusatzfunktionen beschreiben die Anforderungen an die Konstruktion, die die Anwendung für (die jeweiligen Nutzer\*innen) angenehmer und praktischer machen. Diese können bei derselben Problemstellung unterschiedlich ausfallen - je nachdem, welche individuellen Bedürfnisse die Kinder mit der Aufgabenstellung verbinden und wie sie die Prioritäten setzen.

Für diese Funktionen wird mit den Kindern eine Liste von Anforderungen entwickelt, die Checkliste. Idealerweise wird die Checkliste im Unterrichtsgespräch entwickelt und an die Tafel geschrieben. Sie könnte in etwa so aussehen:

### Hauptfunktionen

- Die Maschine kann das Gewicht einer Gabel und einer Weintraube halten und heben.
- Die Maschine kann einen Höhenunterschied von mindestens 20 cm überwinden.
- Die Maschine ist transportabel.
- Eine Zug- oder Schiebe-Vorrichtung oder ein anderer Mechanismus bewegt die Maschine.
- Die Konstruktion funktioniert mehrmals.

### Nebenfunktionen

- Die Gabel kann zum Mund gedreht werden.
- Es gibt eine Trinkmaschine.
- Die Maschine kann von verschiedenen Seiten bewegt werden.
- Die Maschine sieht cool aus.
- ...

Unterstützende Fragen im Rahmen der Entwicklung der Checkliste könnten sein:

- Welches Gewicht muss die Maschine aushalten? Sie kann das Gewicht einer Gabel und einer Weintraube halten und heben.
- In welche Richtung bewegt sich die Maschine? Wie groß ist die Strecke? Die Maschine kann einen Höhenunterschied von mindestens 20 cm überwinden.
- Kann die Maschine auf einen Tisch geschraubt werden? Nein, die Maschine muss transportabel sein.
- Wie funktioniert die Bewegung? Eine Zug- oder Schiebe-Vorrichtung oder ein anderer Mechanismus bewegt die Maschine.
- Wie oft muss die Maschine funktionieren? Sie funktioniert mehrmals.

### ***Darf die Maschine bei der Benutzung festgehalten werden?***

Aufgrund unserer Erfahrungen stellen die Schüler\*innen regelmäßig die Frage, ob die Maschine bei der Benutzung, wenn die Gabel gehoben wird, alleine stehen muss. In der Problemstellung ist nichts aufgeführt, also darf sie auch festgehalten werden. Wenn sie nicht festgehalten wird, braucht sie ein Gegengewicht (z. B. Stein, mit Wasser gefüllter Tetra Pak, etc.). Das ist auf jeden Fall umsetzbar, benötigt aber zusätzliche Zeit, die ggf. nicht mehr vorhanden ist.

### 3 Ideenfindung

Sobald die Checkliste steht, sammeln die Schüler\*innen Umsetzungsideen. Hierbei erfolgt ein Blick in die Biologie, da sich hier unterschiedliche Formen von Bewegung evolviert haben. Es folgt eine biologische Einführung in das Thema.

### 4 Materialauswahl

Der Ideenfindung folgt eine erste Informations- und Planungsphase. Die Schüler\*innen bringen im Vorfeld Alltagsmaterial mit. Die Arbeitsmaterialien aus der Erfinderkiste werden zu einem „Buffet“ aufgebaut. Die Schüler\*innen können materialgeleitet überlegen, was sie bauen wollen und die Materialien mit an ihren Platz nehmen.

#### **Optional: Vorstellen von Material und Plänen**

Wenn die Kinder zum ersten Mal konstruieren, kann es zwar anstrengend, aber hilfreich sein, wenn sie vor dem Bauen kurz überlegen, ob das, was sie machen wollen, auch wirklich das Problem löst. Jedes Kind/Team stellt kurz vor, was es ausgewählt hat und was es damit erreichen will. Dabei wird jeweils kurz reflektiert, ob alle Haupt- und Nebenfunktionen eingeplant sind. Von richtigen „Plänen“ kann am Anfang eigentlich nicht gesprochen werden, weil dafür Erfahrung erforderlich ist, die erst noch gesammelt werden muss. Deshalb sollte überlegt werden, ob es diese Phase braucht. Wenn ja, dann sollte sie nicht viel Zeit in Anspruch nehmen.

### 5 Erkundungs- und Konstruktionsphase

Die Kinder beginnen, ihre Vorhaben in die Tat umzusetzen. Es sollte bedacht werden, dass es für jede Funktion sehr viele Lösungsmöglichkeiten gibt.

Viele werden sehr schnell auf die ersten Schwierigkeiten bei den Detailkonstruktionen stoßen. In dieser Phase ist es sehr wichtig, den Schüler\*innen nicht gleich zu helfen, sondern Rückfragen zu stellen:

- Was möchtest du bauen?
- Was soll es können?
- Wie möchtest du das umsetzen?
- Wo genau liegt das Problem (hält nicht, bewegt sich nicht, fällt um, ...)?
- Problem bei möglichen Drehbewegungen: Sitzt es zu fest oder zu locker? Behindert ein Bauteil die Bewegung? Rutscht die Achse raus?
- Problem beim Hebelarm: Ist der Arm zu schwer? Wackelt er beim Ziehen (Drücken)? Wo hast du Schnur/Führungselemente befestigt?
- Probleme bei der „Steuerung“: Was macht die Schnur/der Schaschlik-Spieß, wenn du ziehst? Darfst du nur an einer Schnur ziehen?

Aktiv sollte nur bei feinmotorischen Defiziten geholfen werden und auch nur dann, wenn das Kind es vorher selbst versucht hat (bis zur Frustrationsgrenze) und es keinen einfacheren Weg gibt. Man kann auch beispielhaft etwas vormachen, wenn die Kinder Angst haben, ihre Konstruktion zu beschädigen.

Wenn die Schüler\*innen sich gegenseitig helfen, hat das mehrere positive Effekte:

- Wer sein Vorgehen erklären soll, muss darüber nachdenken.
- Wer erklärt, muss reden und sich so ausdrücken, dass er/sie verstanden wird.
- Wer fragt, bekommt einen Vorschlag und keine Anweisung.
- Gemeinsame Lösungsfindung erfolgt auf Augenhöhe und stärkt das Wir-Gefühl.
- Die Lehrkraft hat mehr Zeit, Arbeitsverhalten zu beobachten und destruktives Verhalten zu verhindern.

Wie lange diese erste Konstruktionsphase dauern sollte, lässt sich nicht pauschal sagen. Kürzer als 20 Minuten sollte sie aber auf keinen Fall sein und spätestens nach einer Stunde sollte eine Besprechung von Zwischenergebnissen und Schwierigkeiten erfolgen.



## 6 Vorstellung aktueller Stand

Vor dem Ende der Unterrichtsstunde oder aus strategischen Gründen (z. B. ein Problem tritt bei den meisten Gruppen auf, eine Teilaufgabe scheint unklar, ...) wird die Arbeit an den Fake-Armen unterbrochen und die bisherige Arbeit reflektiert. Die Schüler\*innen präsentieren den aktuellen Stand ihrer Arbeit und geben einen Ausblick, was sie in der nächsten Phase noch realisieren wollen. Die Kinder stellen einander Fragen und machen Lösungsvorschläge. Ziel dieser Phase ist neben der Reflexion der eigenen Arbeit auch der Austausch kreativer Ideen und die Einsicht, dass alle auf vergleichbare Probleme stoßen.

Die Schüler\*innen sollen erklären, ob und ggf. wie sie ihren ursprünglichen Plan geändert haben und warum. Probleme und deren Lösungen sowie besonders gelungene Baudetails sollen dabei besprochen werden. An dieser Stelle muss auch wieder (anhand der Checkliste, die die Kinder erstellt haben) überprüft werden, ob alle Funktionen erfüllt sind bzw. in der verbleibenden Bauzeit erfüllt werden können. Auch die Checkliste wird, falls nötig, noch einmal überprüft, ob sie wirklich der Aufgabenstellung entspricht.

Mögliche Impulsfragen in dieser Phase sind:

- Was hast du gebaut?
- Was ist besonders gut gelungen?
- Was funktioniert noch nicht?
- Welchen Zweck haben die einzelnen Komponenten?
- Was möchtest du noch bauen und wie?
- Möchtest du Vorschläge/Ideen aus der Klasse haben?

Bei so einer Reflexionsphase kann aber auch ein konkretes Problem besprochen werden, für das verschiedene Lösungsansätze gesucht werden. Findet die Reflexion am Ende eines Unterrichtsblocks statt, können die Schüler\*innen zur nächsten Stunde weiteres kostenloses Material mitbringen, wenn sie glauben, dass etwas fehlt. Ihre Konstruktionen dürfen sie zwar nicht mitnehmen, aber man sollte ihnen ausdrücklich erlauben, zu Hause technische Experimente oder Materialtests durchzuführen. Sollten sie dabei zu dem Ergebnis kommen, dass sie in der nächsten Stunde mit anderem Material oder sogar etwas ganz Neues bauen wollen, dann ist das legitim und sollte, wenn möglich, zugelassen werden.

## 7 Konstruktionsphase

Auf die Reflexionsrunde folgt die eigentliche Konstruktionsphase. Einige Kinder werden bei ihren ersten Vorstellungen bleiben, andere werden Details verändern und wieder andere ein ganz neues Bauvorhaben beginnen.

Je nachdem, wie heterogen die Klasse ist, können Kinder, die schon sehr weit oder fertig sind, die schwächeren Schüler\*innen bei ihrer Arbeit unterstützen.

Der Wechsel von Besprechung der Zwischenergebnisse im Klassenkreis und anschließendem Konstruieren kann mehrere Male stattfinden, je nach Leistungsstand der Klasse und Komplexität der Problemstellung.

Kinder, die deutlich früher fertig sind als der Rest der Klasse, können ihre Konstruktion optimieren, „Extras“ einbauen oder sich eine Erweiterung ausdenken (z. B. ein Fließband, das Nahrung transportiert, einen Greifarm, eine Seilbahn zum Nachbartisch, ...). Es wäre auch möglich, den Fake-Arm mit kleinen Elektromotoren zu bewegen, wenn die Kinder damit Erfahrung haben und die Lehrkraft dieses betreuen kann.

## 8 Funktionstest und Optimierung

Wer mit seinem Fake-Arm fertig ist, muss ihn erst mal (selbst) testen. Das klingt banal, aber das systematische Überprüfen der eigenen Konstruktion ist ein häufiger und wichtiger Anteil der Arbeit von Ingenieur\*innen. Die Schüler\*innen sollen anhand ihrer Checkliste erst alle Hauptfunktionen überprüfen. Dazu benötigen sie eine der Test-Gabeln und etwas zum Aufspießen. Wenn nichts verfügbar ist, geht auch ein Radiergummi. Sollte das Essen im Arbeitsraum verboten sein, müssen sie draußen testen.

Wenn alle Hauptfunktionen realisiert sind, können sie die Zusatzfunktionen überprüfen. Die müssen zwar nicht funktionieren, damit die Aufgabe erfüllt ist, aber sie bieten Raum für Optimierung.

Wenn noch genug Zeit ist, optimieren die Kinder ihre Konstruktion. Was genau sie darunter verstehen, kann sehr unterschiedlich sein. Es könnte bedeuten:

- Die Art, wie die Gabel gehalten wird, wird nachgebessert.
- Es wird etwas eingebaut, um die Länge des Armes bei Bedarf zu verändern.
- Die „Fernsteuerung“ wird verändert, damit der Arm nicht wackelt.
- Der Arm wird optisch verschönert.

## 9 Abnahme

Wenn die Konstruktion nach Meinung der Schüler\*innen fertig ist, erfolgt eine Abnahme beim „Kunden“ (Lehrkraft). Anhand der Checkliste werden alle Funktionen vorgeführt und von der Lehrkraft noch einmal überprüft. Nur wenn sie auch der Meinung ist, dass der Fake-Arm alle Hauptfunktionen umfasst, ist die Aufgabe erfüllt.

Es muss bedacht werden, dass am Ende eines Konstruktionsprozesses kein Produkt steht, sondern ein Prototyp. Dieses Modell, also das Ergebnis der Schüler\*innen, muss nicht „schön“ sein, man darf sich daran aber nicht verletzen. Die Konstruktion muss auch nicht aussehen wie ein Arm. Das wichtigste Bewertungskriterium ist, dass sie die geforderten Funktionen erfüllt - so sicher, dass sie nicht beim fünften Benutzen auseinanderfällt.

## 10 Präsentation und Reflexion

Zum Abschluss präsentieren die Kinder ihre Konstruktionen. Dabei erklären sie, wie sie die Funktionen realisiert haben und auf welche Schwierigkeiten sie dabei gestoßen sind.

- Was ist mir besonders gut gelungen?
- Was ist mir nicht so gut gelungen?
- Was könnte ich an meiner Konstruktion noch verbessern?
- ...

### III Einzel oder Gruppenarbeit?

Gruppenarbeit ist für viele Kinder hilfreich, aber nicht für alle. Mancher Ingenieur bzw. manche Ingenieurin gibt an, als Kind nicht teamfähig gewesen zu sein, weil er seine bzw. ihre eigenen Ideen in der Gruppe nicht ausreichend erproben und durchführen konnte. Eine erzwungene Gruppenarbeit kann dann durchaus eine negative Erfahrung sein.

Deswegen ist bei dieser Unterrichtsform sinnvoll, die Schüler\*innen selbst entscheiden zu lassen, ob sie allein oder im Team arbeiten wollen. Um trotzdem soziale Kompetenzen fördern zu können, sollen sie bei Schwierigkeiten nicht auf die Lehrkraft warten, sondern sich im Idealfall gegenseitig helfen bzw. ihre Lösungsansätze oder Detailprobleme miteinander diskutieren (vgl. Punkt 6 des startlearnING-Prinzips).

Das Herumlaufen im Klassenraum und die Formulierung sogenannter “W”-Fragen (Wie macht ihr das? Warum macht ihr das? ...) sind bis zu einer bestimmten Grenze erwünscht. Die Lehrkraft sollte lediglich Impulse setzen oder durch gezieltes Nachfragen die Kinder auf Ideen bringen. So lassen sich gewinnbringende Team-Diskussionen in Gang setzen, ohne dass sich alle Beteiligten auf einen Lösungsweg einigen müssen.

Alle startlearnING-Lerngelegenheiten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie auf einem biologischen Phänomen aufbauen. Im Falle der Bewegung ist es die Beugung und Streckung des Unterarms, die ein gängiges Beispiel in den meisten Lehr- und Bildungsplänen der Unterstufe darstellt.

Dieses Phänomen wird ergänzt durch Betrachtungen analoger Strukturen bei Exoskeletten und hydrostatischen Skeletten.

Im Folgenden werden hierzu die Sachinformationen präsentiert, die erklären, wie durch das Zusammenspiel von Knochen, Gelenken und Muskeln Bewegungen ermöglicht werden. Im biologischen Teil des Unterrichts wird das Ziel darin bestehen, das Zusammenspiel von Muskelgruppen untereinander und von Muskelgruppen und anderen Strukturen zu erarbeiten. Hierbei kommt es zur Verwendung und zur Entwicklung von Modellen, mit denen das Zusammenspiel aus starren und beweglichen Teilen zur Erzeugung von Bewegung erklärt werden kann.

### 1. Bewegung und ihre Ursachen

Bewegung, also die Fähigkeit zur Veränderung der Lage und Position, wird in der Biologie als ein Merkmal des Lebendigen beschrieben. Die biomechanischen Prozesse, die eine Ausführung der Bewegung ermöglichen, genauer genommen, welche die hierfür benötigte Energie liefern, können in zwei Kategorien unterteilt werden.

Auf der einen Seite stehen Bewegungen, die durch osmotische Prozesse hervorgerufen werden. Hierbei werden unterschiedliche Druckverhältnisse in den Zellen oder in speziellen Geweben erzeugt, die eine Verformung des Gewebes oder der Zelle bewirken. Diese Verformung führt zu einem Spannungsaufbau, dessen Energie zur Ausführung einer Bewegung nutzbar wird. Diese Form der Bewegungserzeugung findet sich hauptsächlich bei Pflanzen, Pilzen und nur vereinzelt im Tierreich (Sakes, van der Wiel, Henselmans, van Leeuwen, Dodou & Breedveld, 2016, 40).

Auf der anderen Seite stehen Bewegungen, die durch kontraktile Elemente erzeugt werden. Als Beispiele für diese kontraktile Elemente dienen Mikrotubuli und Muskelzellen. Diese Strukturen können sich verkürzen (= Kontraktion), wodurch eine Zugkraft erzeugt wird. Diese Zugkraft wirkt dann auf angrenzende Strukturen ein und sorgt für deren Bewegung (Sakes et al., 2016, 31f.).

In dieser Unterrichtseinheit liegt der Fokus auf einer durch Muskeln erzeugten Bewegung. Um deren Funktionsweise genau zu verstehen, erfolgt nun eine Betrachtung des Aufbaus eines Muskels.

### 2. Aufbau der Muskulatur

Wie Abb. 3 zeigt, besteht ein Muskel aus mehreren Muskelfaserbündeln, die mehrere Muskelfasern umfassen. Die Muskelfasern sind schlauchartige Strukturen, die sich wiederum in kleinere Strukturen, die Myofibrillen, unterteilen lassen. Die Myofibrillen verlaufen parallel entlang der Muskelfaser. Sie bestehen aus aneinander gereihten Funktionseinheiten, den Sarkomeren, die eine Kontraktion ermöglichen.

Die Sarkomere bestehen im Wesentlichen aus zwei überlappenden Filamenten, den Aktinfilamenten und den Myosinfilamenten. Diese lassen sich bei einer Muskelkontraktion ineinander verschieben, wodurch sich die Muskellänge verkürzt (Müller & Frings, 2004, 383-385).

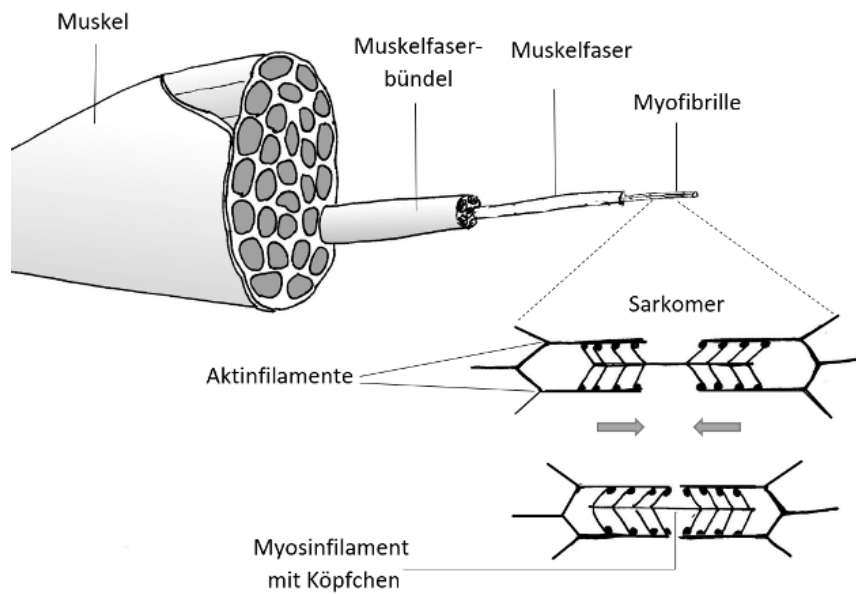


Abb. 3: Aufbau eines Muskels

### 3. Wie ein Muskel kontrahiert

Ein Myosinfilament wird von Aktinfilamenten umgeben und besitzt kleine köpfchenartige Strukturen, die sich an Bindungsstellen des Aktinfilaments binden können. Diese köpfchenartigen Strukturen können nach der Bindung an das Aktinfilament abknicken und einen Ruderschlag erzeugen. Durch den Ruderschlag verschieben sich das Aktin- und Myosinfilament stärker ineinander und die Gesamtlänge des Sarkomers verkürzt sich. Durch die Gesamtheit der Verkürzungen der Sarkomere eines Muskels, verkürzt sich auch dieser und es kommt zur Muskelanspannung (= Kontraktion).

Der Ruderschlag der Myosinköpfchen ist jedoch nur in eine Richtung möglich. Dies hat zur Folge, dass sich Muskeln nur anspannen können (Müller & Frings, 2004, 392; Sadava, Hillis D.M., Heller & Berenbaum, 2011, 1334).

Für ein Auseinanderziehen der ineinander verschobenen Aktin- und Myosinfilamente bedarf es eines Gegenspielers, der den angespannten Muskel dehnt. Häufig ist dieser Gegenspieler ein anderer Muskel auf der gegenüberliegenden Seite des zu bewegenden Organs.

Kontrahiert ein für eine Bewegung verantwortlicher Muskel, wird dessen Gegenspieler aufgrund seiner Lage gedehnt. Soll die Bewegung rückgängig gemacht werden, kontrahiert der vorherige Gegenspieler. Dies führt wiederum zu einer Dehnung des zuvor angespannten Muskels. Manchmal können aber auch die Schwerkraft oder eine nicht komprimierbare Flüssigkeit dazu führen, dass ein angespannter Muskel wieder gedehnt wird (Müller & Frings, 2004, 392).

### 4. Durch Muskeln erzeugte Bewegung bei unterschiedlichen Skeletttypen

Bewegungen im Tierreich werden hauptsächlich durch Muskeln verursacht. Die Kontraktion der Muskeln stellt dabei die benötigte Antriebskraft für die Bewegung zur Verfügung. Trotz dieser Gemeinsamkeit lassen sich Unterschiede der Bewegungsphysiologie erkennen und unterteilen (s. Abb. 4).

Die erste Unterscheidungsebene besteht im Fehlen oder dem Vorhandensein von starren Elementen. Sind starre Elemente vorhanden, bilden diese ein Skelett, das entweder innenliegend (= Endoskelett) oder außenliegend (= Exoskelett) ist. Endoskelette finden wir bei den Wirbeltieren, wohingegen Exoskelette ein typisches Merkmal der Gliederfüßer (= Arthropoden, zu ihnen zählen Insekten, Spinnentiere, Tausendfüßer und Krebstiere) sind.

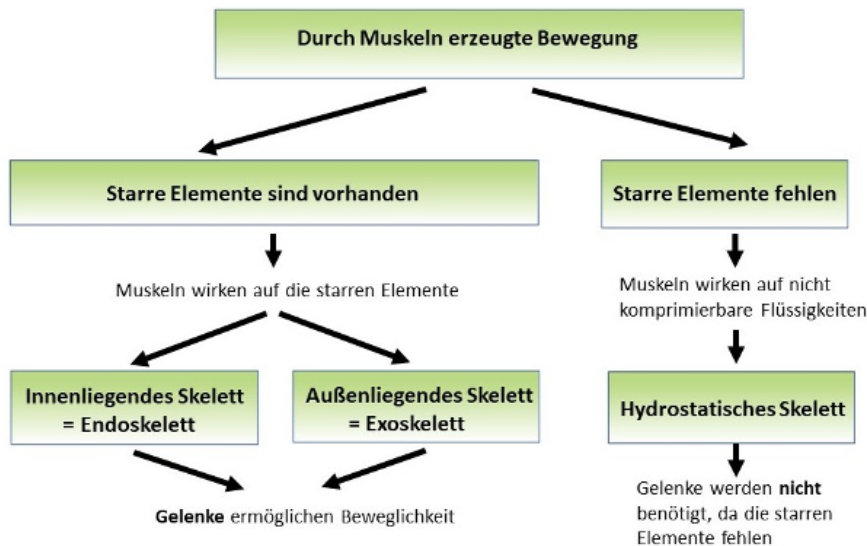


Abb. 4: Einteilung von Umsetzungsformen durch Muskeln erzeugter Bewegung im Tierreich

Die Muskulatur ist über ein Bindegewebe mit den starren Elementen verbunden und kann ihre Zugkraft auf selbige ausüben. Die starren Skelettelemente sind häufig über Gelenke miteinander verbunden. Diese ermöglichen erst eine Beweglichkeit der Skelette.

Bei einigen Tieren fehlen starre Strukturen völlig, dennoch sind sie dazu in der Lage, sehr kraftvolle Bewegungen auszuführen. Der Grund hierfür liegt in einem sehr komplexen Gegenspielersystem von unterschiedlichen Muskelgruppen, die wechselseitig aufeinander reagieren. Kontrahieren Muskeln in einem hydrostatischen Skelett, üben diesen Druck auf inter- und intrazelluläre Flüssigkeiten des Gewebes aus. Diese Flüssigkeiten werden daraufhin verschoben und führen zu einer Verformung des Gewebes (Sadava et al., 2011, 1345).

Im Folgenden werden die soeben beschriebenen, durch Muskeln erzeugten Bewegungen bei unterschiedlichen Skelett-Typen vorgestellt. Stellvertretend für Bewegungen mit einem Endoskelett, erfolgt eine Beschreibung der Bewegung eines Unterarms. Diesem schließt sich eine Betrachtung einer Bewegungsentwicklung bei einem Exoskelett am Beispiel eines Insektenbeins an. Anschließend erfolgen Erläuterungen über die Bewegung eines Oktopusarms und eines Elefantenrüssels, die exemplarisch für die Bewegungen bei einem hydrostatischen Skelett stehen.



Abb. 5: Der Röntgenblick zeigt nicht alles. Bei der Bewegung des Armes arbeiten Knochen mit Gelenken und Muskeln im Team zusammen.

## 5. Der Ellbogen und das Ellbogengelenk

Oberarmknochen, Elle und Speiche bilden gemeinsam das Ellbogengelenk, das genau genommen aus zwei Gelenken besteht: Dem Ellengelenk zwischen Elle und Oberarmknochen und dem Speichengelenk zwischen Speiche und Elle. Die Elle führt von den kleinen Fingern der Hand zum Oberarm. Sie weist am Übergang zum Oberarm eine Aussparung auf, die als Gelenkpfanne für das Ellbogengelenk fungiert. Die Speiche entspringt an der Daumenseite des Unterarms und führt von dort zum Oberarmknochen. Oberarmspeichenmuskel (*M. brachioradialis*), Oberarmmuskel (*M. brachialis*) und Bizeps (*M. biceps brachii*) bilden die Flexoren, also Beugergruppe des Ellbogens, die den Unterarm relativ zum Oberarm bewegt. Ihnen stehen die Extensoren oder die Strecker Trizeps (*M. triceps brachii*) und Ellenbogenhöckermuskel (*M. anconeus*) als Gegenspieler gegenüber. Skelettmuskeln ermöglichen Bewegungen, indem Kraft über Sehnen auf Knochen übertragen wird. Dazu sind die Sehnen (meist) an Knochen befestigt. Sie kreuzen mindestens ein Gelenk, manchmal aber auch mehrere Gelenke, wobei die Kraftentfaltung umso günstiger ist, desto weniger Gelenke von einem Muskel überbrückt werden. Bei der Kontraktion werden die gelenkbildenden Knochen aufeinander zu bewegt. Im Falle des Ellbogengelenks werden Elle und Speiche zum Oberarmknochen hingezogen, der nahezu in seiner Ausgangsstellung verbleibt. Die Veränderung der Lage ist ein wichtiges Kriterium bei der Benennung der Muskeln. Der Ort, an dem die Sehne des Muskels am bewegten Knochen angreift, wird als Ursprung bezeichnet. Der Ort, an dem die Muskelsehne am bewegten Knochen befestigt ist, heißt Ansatz. Der Bizeps beispielsweise hat seinen Namen von seinen zwei Ursprüngen (oder Köpfen, daher die Bezeichnung *ceps*, von lat. *Caput*), die beide am Schulterblatt entspringen. Zur Unterscheidung von einem zweiten Bizeps in unserem Körper, dem Schenkelbeuger-Muskel (*M. biceps femoris*), enthält die lateinische Muskelbezeichnung den Herkunftszusatz *brachii* (von *Brachium* - lat. Oberarm) im Vergleich zu *Femoris* (lat. für Oberschenkel) (Weitzel, 2014).

Zwar sind alle Beuger und Strecker an der Bewegung des Ellbogens beteiligt, jedoch nicht alle in gleicher Weise. Der Oberarmspeichenmuskel etwa entfaltet seine Leistung immer dann besonders effektiv, wenn Bewegungen rasch erfolgen oder wenn ein Gewicht besonders langsam während der Bewegung angehoben werden soll.

Häufig liegen Muskeln nicht in dem Körperteil, das sie bewegen. Die Muskelbäuche (die fleischigen Anteile eines Muskels) von Bizeps und Trizeps finden sich beispielsweise am Oberarm, während die Hauptfunktion beider Muskeln darin besteht, den Unterarm zu bewegen. Anders ist es beim Ellenbogenhöckermuskel, der den Trizeps bei der Streckung des Unterarms unterstützt. Sein Bauch liegt an der Elle, also in dem Körperteil, das bewegt wird. Neben den bereits genannten existieren weitere Muskeln, die an Elle und Speiche ansetzen (vgl. Tabelle 1). Ihre Aufgabe besteht darin, das Speichen- oder Radioulnargelenk zu bewegen (Weitzel, 2014).

Muskel	Ursprung	Ansatz	Funktion
<b>Unterarmbeuger</b>			
Bizeps ( <i>M. biceps brachii</i> )	Schulterblatt	Raue Fläche auf der Vorderseite der Speiche unterhalb des Ellbogengelenks	Beugung des Ellbogens, Beugung im Schultergelenk, Auswärtsdrehung (Supination) der Hand durch Drehung des Radioulnargelenks
Oberarmmuskel ( <i>M. brachialis</i> )	Oberarmknochen	Raue Fläche auf der Vorderseite der Elle unterhalb des Ellbogengelenks	Beugung des Ellbogens, kräftiger als Bizeps (!)
Oberarmspeichenmuskel ( <i>M. brachioradialis</i> )	Oberarmknochen	Speiche	Beugung des Ellbogens, Ein- und Auswärtsdrehung des Radioulnargelenks
<b>Unterarmstrecker</b>			
Trizeps ( <i>M. triceps brachii</i> )	1 Ursprung am Schulterblatt ( <i>Caput longum</i> ), 2 am Oberarmknochen	Hinterseite der Elle	Streckung des Ellbogens, Streckung im Schultergelenk
Ellenbogenhöckermuskel ( <i>M. anconeus</i> )	Oberarmknochen	Hinterseite der Elle	Streckung des Ellbogens, Streckung im Schultergelenk

Tab. 1: Auf Elle und Speiche einwirkende Muskeln

## 6. Gelenke als Schlüsselstellen für Bewegung

Erst die Gelenke ermöglichen dem Körper, aufgrund der Festigkeit der Knochen, Bewegungen. Abgesehen von planen Gelenken (wie in der Wirbelsäule) findet man bei Gelenk bildenden Knochen jeweils einen Gelenkkopf und eine Gelenkpfanne, zwischen denen der Gelenkspalt liegt. Eine Knorpelschicht an den Berührungsstellen vermindert die Reibung zwischen Kopf und Pfanne. Das Gelenk wird von einer festen Haut, der Gelenkkapsel, vollständig umschlossen. Neben dem Abschluss des Gelenkes nach außen, ist ihre Aufgabe die Ernährung und Schmierung des Gelenks durch die Bereitstellung von Gelenkschmiere, die den Gelenkknorpel ernährt und die Reibung zwischen Gelenkkopf und -pfanne weiter herabsetzt. Die Einteilung von Gelenken erfolgt nach der Gestalt der Gelenkoberfläche, die unterschiedliche Formen von Bewegungen ermöglicht. Das Ellengelenk ist ein Scharniergelenk, da es wie ein Türscharnier nur winkelförmige Bewegungen zulässt. Anatomisch verantwortlich hierfür ist der konvex gestaltete Gelenkkopf des Oberarms, der in die konkave Aussparung der Gelenkpfanne der Elle reicht. Das Speichengelenk ist ein Radgelenk. Die Speiche ist durch ein ringförmiges Band mit der Elle verbunden, wo durch eine Drehbewegung um die Längsachse der Speiche ermöglicht wird. So können wir unsere Handflächen nach unten und nach oben drehen (Weitzel, 2014).



## 7. Das Insektenbein - Konsequenzen eines Exoskelettes

Wie alle Gliederfüßer (Arthropoden) besitzen auch Insekten ein stabiles Außenskelett (= Exoskelett). Dieses Exoskelett besteht aus mehreren Eiweißstrukturen, in die das Kohlenhydrat Chitin eingebettet ist. Die Zusammensetzung der Eiweißstrukturen entscheidet dabei über Festigkeit, Elastizität und Härte des Außenskeletts (Campbell, Reece, Held, & Markl, 2003, 1287).

Das Exoskelett umschließt das Insekt vollkommen, wie eine Ritterrüstung. Es dient als Stützapparat und schützt alle innenliegenden Organe. Um eine Beweglichkeit zu ermöglichen, besteht das Exoskelett aus mehreren Chitinplatten, die über weiche Gelenkhäute miteinander verbunden sind. Diese Strukturen können analog zu den Gelenken bei den Endoskeletten gesehen werden.

Exoskelette bieten ihren Trägern aufgrund ihrer Stabilität einen guten Schutz, gleichzeitig haben sie den Nachteil, dass sie nicht mitwachsen, sondern einer Häutung des Organismus bedürfen (Campbell et al., 2003, 1285). Des Weiteren sind Exoskelette sehr schwer und grenzen die Beweglichkeit eines Organismus ein.

Welche Mechanismen eine Bewegung bei einem Exoskelett ermöglichen, wird im Folgenden exemplarisch am Beispiel eines Insektenbeins aufgezeigt.

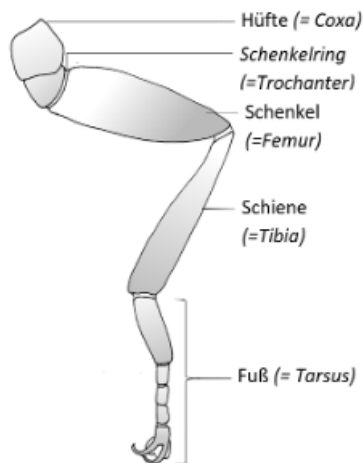


Abb. 6: Aufbau eines Insektenbeins

### Bewegung eines Insektenbeins

Das Bein eines Insekts (vgl. Abb. 6) besteht im Wesentlichen aus 5 Röhrenelementen: der Hüfte (= *Coxa*), dem Schenkelring (= *Trochanter*), dem Schenkel (= *Femur*), der Schiene (= *Tibia*) und dem Fuß (= *Tarsus*). Diese sind über Gelenkhäute miteinander verbunden. Die Muskulatur der Insekten setzt im Inneren der Röhrenelemente direkt oder indirekt über Bindegewebsstrukturen am Exoskelett an und verbindet nebeneinandergelegene Röhrenelemente (Bauer & Dettner, 1999, 198-200). Wie beim Ellenbogengelenk beschrieben, gilt auch bei den Muskeln des Exoskeletts das Gegenspielerprinzip.

In Abbildung 7 verbinden die Muskeln A und B die röhrenförmigen Exoskelettelemente von Schenkel (= *Femur*) und Schiene (= *Tibia*). Die beiden Muskeln sind hier Gegenspieler. Kontrahiert Muskel A, so wird die Schiene herangezogen und das Bein beugt sich. Muskel B wird aufgrund seiner Lage dabei gedehnt. Kontrahiert Muskel B, führt dies zur Streckung des Beines, der Muskel A wird gedehnt. Bewegungen mit einem Exoskelett folgen also demselben Prinzip wie Bewegungen mit einem Endoskelett. Lediglich der Aufbau ist invers.

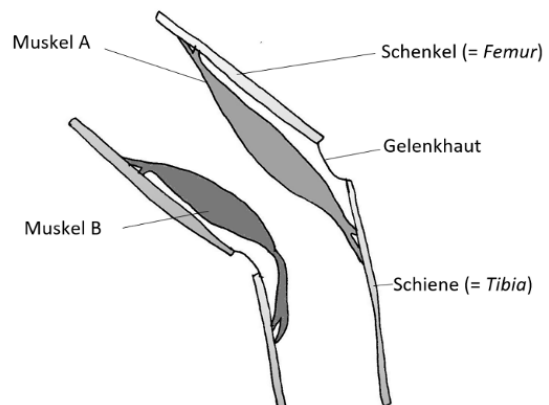


Abb. 7: Schematischer Längsschnitt durch ein Insektenbein

## 8. Konsequenzen von hydrostatischen Skeletten

Die biomechanische Funktionsweise der Muskeln, also ihre Kontraktionsfähigkeit und die Tatsache, dass sich Muskeln nicht eigenständig dehnen können, hat auch bei den hydrostatischen Skeletten Gültigkeit. Anders als bei Endo- und Exoskeletten fehlt es hydrostatischen Skeletten aber an starren Elementen. Sie verfügen weder über Knochen noch über verhärtete Chitinplatten, die eine stützende Wirkung haben könnten. Die Stützfunktion bei hydrostatischen Skeletten wird durch zwei Faktoren ermöglicht. Zum einen aus der Kraft der Muskulatur, zum anderen aus den inneren Druckverhältnissen, die durch nicht omprimierbare Flüssigkeiten im Zellinnern oder in interzellularen Räumen entstehen (Campbell et al., 2003, 1287; Kier & Smith, 1985, 308f.).

Bei hydrostatischen Skeletten kann die Muskulatur ihre Kraft nicht auf starre Elemente ausüben. Stattdessen wirkt die Muskelkraft auf die beschriebenen Flüssigkeiten im Inneren des Organismus (Campbell et al., 2003, 1287). Auch bei hydrostatischen Skeletten gibt es ein Gegenspielerprinzip. Die entsprechenden Gegenspielermuskeln agieren dabei nicht direkt miteinander, sondern führen zu einer Lageveränderung der Gewebsflüssigkeiten, die dann zur Dehnung der Antagonisten führt. Vereinfacht betrachtet findet sich bei hydrostatischen Skeletten ein Wechselspiel von zwei bis drei unterschiedlich angeordneten Muskelgruppen, der Längsmuskulatur und der Quermuskulatur bzw. einer Helikalmuskulatur. Abb. 8 illustriert die Lage der unterschiedlichen Muskeln bei hydrostatischen Skeletten und verdeutlicht die Bewegungen, die sie ermöglichen.

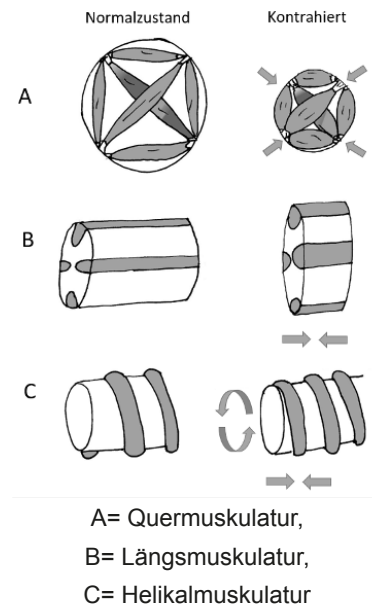


Abb. 8: Muskeln bei hydrostatischen Skeletten und die Bewegungen, die sie ermöglichen.

### *Funktionsweise von Bewegungen bei hydrostatischen Skeletten*

Hydrostatische Skelette kann man sich wie ein muskelumspanntes Rohr vorstellen. In diesem Rohr sitzt die mit der Ummantelung verwachsene Quermuskulatur, die bei Kontraktion zu einer Verringerung des Durchmessers führt. Entlang der Längsachse dieses Rohrs befinden sich parallelliegende Stränge einer Längsmuskulatur, die teilweise in die Quermuskulatur eingebettet sind. Die Kontraktion der Längsmuskulatur führt zu einer Verkürzung des Rohrs. Generell kann beobachtet werden, dass eine Verkürzung des betroffenen Organs zu einer Vergrößerung des Durchmessers führt, wohingegen eine Verringerung des Durchmessers eine Verlängerung des Organs mit sich bringt. Die mit ihrer Bewegung einhergehende Veränderung von Länge und Durchmesser bei hydrostatischen Organen untersuchten Kier und Smith (1985) genauer. Dabei arbeiteten sie heraus, dass hydrostatische Skelette immer ein gleichbleibendes Volumen haben. Darum erfolgt bei einer Größenreduktion der einen Ebene (z. B. Länge) automatisch ein Größenzuwachs der anderen Ebene (z. B. Durchmesser).

Die mit einer Bewegung einhergehende Verformung des Organs wird durch die darin enthaltenen Flüssigkeiten verursacht. Bei einer durch die Quermuskulatur hervorgerufenen Verringerung des Durchmessers wird Druck auf die Muskelzellen der Längsmuskulatur und die darin enthaltene Flüssigkeit ausgeübt. Die Flüssigkeit in der Längsmuskulatur weicht diesem Druck aus. Dabei drückt sie gegen die Membranen der Längsmuskulatur und dehnt den Muskel in die Länge.

Bei der Kontraktion der Längsmuskulatur hingegen ziehen sich diese Zellen zusammen

und verkürzen das entsprechende Gewebe des Organs. Bei dieser Verkürzung wird die Flüssigkeit in den Zellen der Längsmuskulatur hinsichtlich der Längsausrichtung der Zelle zusammengepresst, was zu einer Verschiebung der Flüssigkeit in die Querachse der Zelle führt. Die entsprechende Zelle wird also kürzer und nimmt an Durchmesser zu. Die Vergrößerung des Durchmessers der einzelnen Längsmuskulaturbündel führt dabei zu einer Dehnung der umgebenden Quermuskulatur. Folglich nimmt der Durchmesser des verkürzten Organs zu.

### **Bewegungen in alle Richtungen**

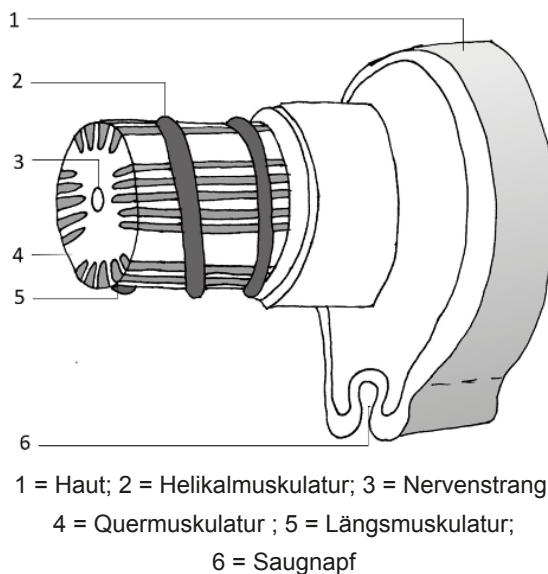
Lebewesen mit hydrostatischen Skeletten können sich nicht nur in die Länge dehnen und wieder verkürzen. Es ist ihnen auch möglich, um Ecken herumzugreifen, da ihnen hierfür hinderliche starre Elemente oder Gelenke, die die Bewegung vorgeben fehlen.

Ein weiterer Grund für diese Fähigkeit liegt in der schlauchartigen Anatomie der zu bewegend Organe und der darin ringförmig angelegten Längsmuskulaturstränge. Soll beispielsweise eine Bewegung nach links erfolgen, kontrahieren nur Stränge der Längsmuskulatur auf der linken Seite des zu bewegend Organs. Diese verkürzen sich während die rechtsseitig gelegenen Längsmuskulaturstränge gedehnt werden. Die Folge ist eine nach links abknickende Bewegung des Organs. Bei Richtungsbewegungen wirken die unterschiedlich gelegenen Fasern der Längsmuskulatur als die jeweiligen Gegenspieler.

Um eine 360°-Beweglichkeit allerdings wirklich erklären zu können, gilt zu beachten, dass entsprechende Organe bei hydrostatischen Skeletten aus einer Vielzahl (bei manchen Tieren mehrere Tausend) von aneinandergereihten und miteinander verbundenen Muskeln bestehen. Diese können unabhängig voneinander kontrahieren. Die Beweglichkeit wird darüber hinaus noch von einer weiteren Muskelgruppe, der Helikalmuskulatur, verstärkt, die sich schraubig entlang der Hauptachse des Organs befindet (Kier & Smith, 1985 320ff., Kier & Thompson, 2003, 153f.). Ein entsprechendes Organ kann somit an der einen Stelle eine Linksbewegung und an einer anderen eine Rechtsbewegung ausführen.

### **Beispiele aus dem Tierreich**

Hydrostatische Skelette finden sich vor allem bei wirbellosen Tieren. Die komplexeste Form der Beweglichkeit in Kombination mit Präzision hat sich dabei bei den Kopffüßern (*Cephalopoden*) entwickelt. Exemplarisch hierzu soll die Muskulatur des Arms eines Oktopus Betrachtung finden. Oktopusse haben acht Fangarme, die jeweils mit mehreren Reihen an Saugnäpfen ausgestattet sind. Sie sind dazu in der Lage, ihre Arme in unterschiedliche Richtungen zu bewegen. Betrachtet man den Querschnitt eines Oktopusarms, (vgl. Abb. 9), stellt der Arm ein aus Muskeln bestehendes Rohr dar, in dessen Zentrum sich ein reich verzweigter Nervenstrang befindet. Dieser gibt Impulse an verschiedene Muskelgruppen des Oktopusarms, woraufhin diese kontrahieren (Kier & Thompson, 2003, 150-154).



1 = Haut; 2 = Helikalmuskulatur; 3 = Nervenstrang;  
4 = Quermuskulatur ; 5 = Längsmuskulatur;  
6 = Saugnapf

Abb. 9: Querschnitt durch einen Oktokusarm (vereinfachte Darstellung nach Kier & Smith 1985)

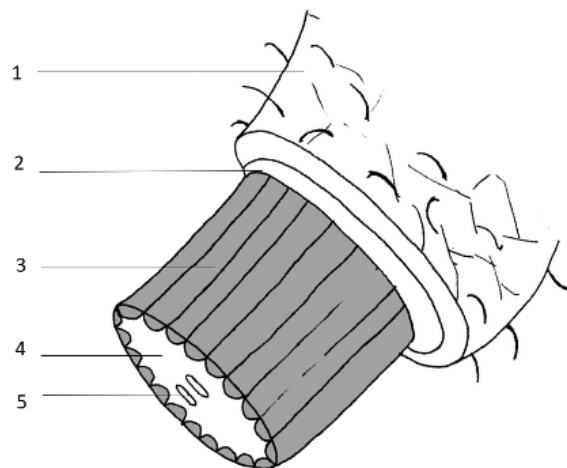
Die verschiedenen Bewegungsabläufe werden durch ein Zusammenspiel der Längsmuskulatur, der Quermuskulatur und der Helikalmuskulatur ermöglicht. Die Längsmuskulatur dient der Verkürzung und Biegung des Armes. Die Quermuskulatur kann eine Ausdehnung des Armes hervorrufen. Sowohl bei der Biegung des Armes als auch bei dessen Streckung wirkt die Helikalmuskulatur unterstützend (Kier & Thompson, 2003, 151-153).

Obwohl man hydrostatische Skelette aufgrund des Fehlens von starren Skelettstrukturen nicht bei Wirbeltieren vermuten würde, finden sich hydrostatische Organe selbst dort. Elefanten (*Elephantidae*) haben mit ihrem Rüssel einen Greifmechanismus entwickelt, der ohne Knochen und Gelenke auskommt. Der Elefantenrüssel hat sich aus einer Verwachsung der Oberlippe (*Labium superius*) und der Nase (*Rhinarium*) entwickelt und besteht ausschließlich aus Muskeln. Der Elefantenrüssel kann dabei als ein echtes Universalwerkzeug beschrieben werden. Er ist mit dem Riechorgan der Elefanten verbunden und dient der Wasseraufnahme. Elefanten können Wasser mit ihrem Rüssel ähnlich einer gigantischen Wasserspritze aufnehmen und wieder versprühen (Angermann, 2004, 663-664). In der Spitze des Rüssels münden sehr sensible Nervenenden, die es dem Elefanten ermöglichen Oberflächen genau abzutasten und selbst einzelne Grashalme und Blättchen gezielt abzuzupfen. Gleichzeitig ist der Rüssel ein so starkes Greiforgan, dass Elefanten damit Bäume ausreißen können.

Der Querschnitt durch einen Elefantenrüssel (vgl. Abb. 10) offenbart Strukturen, die der Beschreibung eines hydrostatischen Skeletts, wie nach Kier & Smith (1989, 30f.) beschrieben, entsprechen. Er ist im Grunde genommen ein muskulärer Schlauch, in dessen Inneren sich zwei hohle Rohre befinden, durch die der Elefant atmen oder Wasser aufsaugen kann.

Diese beiden Hohlrohre sind von 40.000 Muskeln umgeben. Elefanten besitzen verschiedene Stränge an Längsmuskulatur, die sich parallel entlang des Rüssels durchziehen. Außerdem ist bei ihnen auch eine Quermuskulatur vorhanden (Kier & Smith, 1989, 30). Das Wechselspiel aus Längs- und Quermuskulatur ermöglicht dabei ein Strecken und Heranziehen des Rüssels, während eine richtungsverändernde Bewegung durch ein gezieltes Anspannen der Längsmuskulatur ermöglicht wird.

Das Fehlen von starren Elementen sowie die Vielzahl der Muskeln im Elefantenrüssel und deren komplexes Zusammenspiel ermöglichen dem Elefantenrüssel eine 360°-Beweglichkeit.



1 = Haut; 2 = Bindegewebe; 3 = Längsmuskulatur;  
4 = Quermuskulatur ; 5 = Nasenlöcher

Abb. 10: Querschnitt durch einen Elefantenrüssel  
(vereinfachte Darstellung nach Kier & Smith 1989)

## Literatur

Angermann, R. (2004). *Spezielle Zoologie* (1. Aufl.). Heidelberg, Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

Bauer, T., & Dettner, K. (1999). *Lehrbuch der Entomologie* (1. Aufl.). Stuttgart: Fischer.

Campbell, N. A., Reece, J. B., Held, A., & Markl, J. (2003). **Biologie** (6. Aufl.). *Spektrum Lehrbuch*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verl.

Kier, W. M., & Smith, K. K. (1985). *Tongues, tentacles and trunks: the biomechanics of movements in muscular hydrostats*. *Zoological Journal of the Linnean Society*. (83), 307–324.

Kier, W. M., & Smith, K. K. (1989). *Trunks, tongues, and Tentacles: Moving with Sceletons of Muscle*. *American Scientist*, pp. 28–35.

Kier, W. M., & Thompson, J. T. (2003). *Muscle arrangement, function and specialization in recent coleoids*. *Berliner Paläobiol. Abh.* 141–162. (3), 141–162.

Müller, W., & Frings, S. (2004). *Tier- und Humanphysiologie: Eine Einführung ; mit 14 Tabellen* (2., überarb. und erw. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Berlin: Springer.

Sadava, D., Hillis D.M., Heller, H. C., & Berenbaum, M. R. (2011). *Biologie* (9. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Sakes, A., van der Wiel, M., Henselmans, P. W. J., van Leeuwen, J. L., Dodou, D., & Breedveld, P. (2016). *Shooting Mechanisms in Nature: A Systematic Review*. *PloS One*, 11(7), e0158277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158277>

Storch, V. und Welsch, U. (2003). *Systematische Zoologie* (6th). *Spektrum Lehrbuch*. München: Spektrum Akademischer Verlag.

Weitzel, H. (2014). *Beweglich sein*. *Unterricht Biologie*.

## V Stundentafel

Für die Unterrichtseinheit sind insgesamt 9 Schulstunden (4 Doppelstunden, 1 Einzelstunde) einberaumt. Die 5. Einzelstunde (Präsentation und Reflexion) kann dabei aber auch in eine Doppelstunde ausgedehnt werden.

<b>1. Doppelstunde</b>	Problemstellung & Einführung Bewegung: Modellbau zum Zusammenspiel von Knochen und Muskeln
<b>2. Doppelstunde</b>	Andere Skelettformen: Insektenbein und Elefantenrüssel
<b>3. Doppelstunde</b>	Konstruktion mit Erstellung der Checkliste und der ersten Konstruktionsphase
<b>4. Doppelstunde</b>	Fortführung der Konstruktion bis zur Abnahme
<b>5. Einzelstunde</b>	Präsentation und Reflexion

Je nach Leistungsstärke der Klasse kann noch eine dritte Doppelstunde zum Konstruieren notwendig sein.

## VI Unterrichtstabellen

### 1. Doppelstunde (Einführung)

Hinweis: Alle Medien, die Sie den Schülerinnen und Schülern präsentieren, finden Sie in der PowerPoint Präsentation (Stunde 1)

Zeit	Phase	Verlauf	Sozial- form	Medien
<b>Ca. 5 min</b>	<b>Einführung</b>	<p>Begrüßung und kurze Klärung zum Projekt: L.: Wir werden im folgenden Projekt wie Ingenieur*innen arbeiten. D. h. wir werden etwas erfinden und bauen, womit wir ein Problem lösen. Hierzu schauen wir uns den folgenden Clip an: Frühstücksmaschine <a href="https://www.youtube.com/watch?v=E2evC2xTNWg">https://www.youtube.com/watch?v=E2evC2xTNWg</a>. Was wollte die Ingenieurin hier bauen? Sammlung von Schüler*innenantworten.</p>	<b>Plenum</b>	<b>Video- sequenz</b>
L.: „Wenn man etwas Neues bauen will und Ideen braucht, hilft es manchmal, zu spicken. Kennt ihr etwas, das ähnlich funktioniert, wie die Maschine?“				
<b>10 min</b>	<b>Problem- stellung</b>	<p>L.: legt eine Folie mit einem Comic auf. Die SuS beschreiben, was sie sehen und arbeiten die Fragestellung heraus. (Beispielfragestellung: Die Kinder im Comic haben eine Frage. Eure Aufgabe ist es, zunächst alleine eine Antwort auf die Frage zu geben und diese in die Zeilen unter dem Bild einzutragen.) UG: Arbeitsblätter mit Lösungen werden an TA gesammelt. SuS versammeln sich vor TA, unterschiedliche Lösungsideen werden vorgestellt und auf Gemeinsamkeiten / Unterschiede gesichtet.) Beispielhafte Antworten: - Skelett hat keine Muskeln. - Skelett hat keine Bänder. - Skelett ist tot.</p>		<b>Cartoon</b>  Schüler- aufgaben: (Aufgabe 1)
L.: „Ihr habt die Vermutung, dass die Bewegung des Fingers zur Nase nur möglich ist, wenn Muskeln und Knochen vorhanden sind und diese wie auch immer zusammenarbeiten. Wenn Wissenschaftler*innen versuchen, eine Frage zu beantworten, dann entwickeln sie dazu häufig ein Modell, mit dem sie ihre Vermutung testen können. Das genau soll auch eure Aufgabe sein: Entwickelt in Gruppen ein Modell, mit dem ihr erklären könnt, wie die Knochen bewegt werden müssen, damit der Finger zur Nase geführt werden kann. Konzentriert euch auf Unter- und Oberarm.“				
<b>Ca. 60 min</b>	<b>Erarbei- tung</b>	<p>Differenzierungsmöglichkeit: SuS realisieren zunächst Beugung, falls genügend Zeit auch Streckung realisieren.) Hinweis für Lehrkraft, der die Arbeit erleichtert: Wie am Skelett soll der Modellarm hängen und dann die Funktion (Beugung, Streckung) erfüllen? Das erleichtert die Modellkonstruktion, da die Notwendigkeit zur seitlichen Stabilisierung minimiert wird.) Gruppen bilden ist sinnvoll!</p>	<b>Plenum</b>	Schüler- aufgaben: Aufgabe 2 sowie Mate- rial aus der Kiste  Differen- zierung: Aufgabe 3

L.: Ihr habt in euren Gruppen nun verschiedene Modelle gebaut. Diese werden wir gleich gemeinsam im Klassenverband besprechen.

<b>10 - 15 min</b>	<b>Sicherung</b>	Besprechen der unterschiedlichen Lösungsansätze - Finden von Gemeinsamkeiten und Unterschieden, gute Lösungen von weniger gelungenen Lösungen unterscheiden.	<b>Plenum</b>	Modellarbeiten der SuS
	<b>Hausaufgabe</b>	Ausfüllen der ersten Spalte der Übersichtstabelle		AB: Tabell. Überblick Skelette

## 2. Doppelstunde: Einzelstunde Insektenbein + Einzelstunde hydrostatische Skelette

### Einzelstunde Insektenbein:

Zeit	Phase	Verlauf	Sozialform	Medien
<b>5 min</b>	<b>Problemstellung</b>	Die Lehrperson legt einen Cartoon auf den Overheadprojektor auf. Die Sprechblase ist verdeckt. Die Lehrperson lässt die SuS vermuten, was der Insektenkundler wohl alles bei seinem Käfer beobachten kann. Anschließend deckt die Lehrperson die Sprechblase auf und entwickelt darauf aufbauend die Fragestellung, wie sich Käfer fortbewegen (bei Säugetieren sieht man bei Bewegungen die Anspannung von Muskeln, bei Insekten nicht). Die Frage „Wie bewegen sich Insekten?“ wird an der Tafel festgehalten. Tipp: Um die Aussage auf dem Cartoon zu belegen, könnte eine Beobachtung von Mehlkäfern ( <i>Tenebrio molitor</i> ) erfolgen.[--> bei Doppelstunde]	<b>Plenum</b>	Cartoon-Folie, OHP oder Visualizer, Tafel
<b>5 min</b>	<b>Hypothesenbildung</b>	Die SuS äußern Vermutungen zur Beantwortung der Frage. Die Vermutungen werden an der Tafel fixiert.	<b>Plenum</b>	Tafel
L.: Nachdem ihr so viele Ideen hattet, werden wir uns gleich anschauen, wie sich Insekten bewegen können. Hierzu lesen wir folgenden Infotext.				
<b>5 min</b>	<b>Bearbeitung I</b>	Der Infotext „Bewegung bei Insekten“ wird mit den SuS gemeinsam gelesen. Zur Texterschließung werden die Aufgaben 1 und 2 von den SuS in Einzelarbeit bearbeitet. <b>Tipp</b> für die anschließende Sicherung: Die Aufgaben zusätzlich auf Folie kopieren und von schnellen SuS ausfüllen lassen.	<b>Plenum</b> <b>EA</b>	AB: Bewegung bei Insekten, Lösungsfolie
<b>5 min</b>	<b>Sicherung I</b>	Die Aufgaben werden mittels OHP-Folie visualisiert und besprochen.	<b>Plenum</b>	Lösungsfolie



*L.: Wir wissen nun, dass Insekten ein Exoskelett haben und ihre Muskulatur innen liegt. Wie diese Muskulatur funktioniert, werdet ihr in den nächsten 5 Minuten herausfinden. Hierzu bearbeitet ihr die Aufgaben 4 und 5. Ihr habt 3 Minuten Zeit. Anschließend gebe ich euch Bescheid und ihr vergleicht eure Lösungen mit eurem Nachbarn.*

<b>10 min</b>	<b>Bearbeitung II</b>	Die Aufgaben 3 und 4 werden zunächst in Einzelarbeit beantwortet (8 Min.). Danach werden die Lösungsansätze in Partnerarbeit verglichen (2 Min.).	<b>EA</b> <b>PA</b>	Rückseite des AB
<b>5 min</b>	<b>Sicherung II</b>	Die Folie wird aufgelegt und einzelne SuS tragen ihre Lösungen auf der Folie ein. Anschließend Besprechung der Lösungen im Klassenverband.	<b>Plenum</b>	AB/ Folie, OHP/ Visualizer
<b>5 min</b>	<b>Verifizierung/ Falsifizierung der Hypothesen</b>	Die anfänglich fixierten Vermutungen werden auf ihre Richtigkeit überprüft und die entwickelte Fragestellung wird beantwortet.	<b>Plenum</b>	
<b>10 min</b>	<b>Weiterführung</b>	SuS füllen Spalte 2 der Übersichtstabelle aus.		AB: Tabell. Überblick Skelette

### Einzelstunde Hydrostatische Skelette:

<b>Zeit</b>	<b>Phase</b>	<b>Verlauf</b>	<b>Sozialform</b>	<b>Medien</b>
<b>5 min</b>	<b>Einstieg und Problemfindung</b>	Die Lehrkraft legt eine Cartoon-Folie auf den Overheadprojektor. Die einzelnen Gedankenblasen sind verdeckt. Die Lehrkraft erzählt die Geschichte von Jim, dessen Handy in den Abwasserschacht gefallen ist. Es ist zu tief, um danach greifen zu können und liegt zudem noch hinter einer Rohrbiegung. Während der Problemidentifizierung werden die einzelnen Gedankenblasen aufgedeckt.  Im Unterrichtsgespräch wird erörtert, weshalb Jim nicht mit seinem Arm an sein Smartphone gelangen kann (Knochenlänge fest, geringe Anzahl an Gelenken, Gelenke geben Greifrichtung vor).  Zum Schluss deckt die Lehrkraft folgende Fragestellung auf: „Wie müsste der Arm aufgebaut sein, damit Jim sein Smartphone erreichen kann?“	<b>Plenum</b>	Cartoon-Folie, OHP oder Visualizer
<b>5 min</b>	<b>Hypothesenbildung</b>	Die Schülerinnen und Schüler äußern Vermutungen dazu, welche die Lehrkraft an der Tafel festhält.	<b>Plenum</b>	Tafel

*L.: Ihr habt schon viele recht gute Vermutungen geäußert. Wir werden uns nun mit zwei Lebewesen beschäftigen, die ihre Greiforgane verlängern und in jede Richtung bewegen können. Hierzu werden wir unterschiedliche Infotexte lesen. Was ihr genau tun sollt, lesen wir auf der folgenden Folie*

<b>25 min</b>	<b>Erarbeitung</b>	<p>Die Lehrkraft legt die Folie (Arbeitsanweisungen) auf und bespricht mit den SuS, was sie zu tun haben. Die Schülerinnen und Schüler bekommen unterschiedliche Texte, die sie zunächst eigenständig lesen (10 Min.).</p> <p>Danach treffen sie sich mit einem/r Schüler*in, der/ die denselben Text bearbeitet hat. Sie vergleichen ihre Antworten (5 Min.).</p> <p>Anschließend treffen sich die SuS in Doppel-Tandems (unterschiedliche Texte) und erklären sich gegenseitig ihre Texte (5 Min.).</p> <p>Danach bearbeiten sie die Aufgaben auf der Rückseite eigenständig (5 Min.).</p>	<p><b>EA</b></p> <p><b>PA</b></p> <p><b>GA</b></p> <p><b>EA</b></p>	<p>ABs: Oktopus und Elefant</p>
<b>5 min</b>	<b>Sicherung</b>	Die Schülerinnen und Schüler stellen ihre Lösungen vor. Diese werden im Plenum besprochen.	<b>Plenum</b>	Lösungsfolie
<b>5 min</b>	<b>Verifizierung/ Falsifizierung</b>	Die erstellten Hypothesen werden überprüft. Die Fragestellung von Beginn der Stunde wird beantwortet.	<b>Plenum</b>	Tafel
	<b>Hausaufgabe</b>	Die Schülerinnen und Schüler füllen Spalte 3 der Übersichtstabelle aus.		AB: Tabell. Überblick Skelette

### 1. Doppelstunde Konstruktion:

<b>Zeit</b>	<b>Phase</b>	<b>Verlauf</b>	<b>Sozialform</b>	<b>Materialien</b>
<b>10 min</b>	<b>Klären der Methode</b>	<p>Lehrkraft erklärt, dass sie nun, mit Hilfe des Vorwissens aus den Biologie-Stunden eine Maschine konstruieren sollen, so wie Ingenieure es tun würden.</p> <p>Flussdiagramm wird gezeigt und erklärt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Problemstellung klären und geforderte Funktionen aufschreiben</li> <li>• Material sichten und geeignetes auswählen</li> <li>• Konstruktion planen</li> <li>• Bauen</li> <li>• Eventuelle Fehler analysieren und korrigieren oder neu anfangen</li> <li>• Funktionen testen</li> <li>• Abnahme</li> </ul>	<b>Plenum</b>	Folie Ablaufdiagramm
<b>10 min</b>	<b>Klären der Problemstellung</b>	Gemeinsam wird ein Video einer "Frühstücksmaschine" angeschaut. Anschließend wird gemeinsam erarbeitet, was der Fake-Arm können muss und was nicht. Die Schülerinnen und Schüler halten die Funktionen schriftlich fest.	<b>Plenum</b>	Video, Arbeitsblatt

<b>5-10 min</b>	<b>Werkzeug und Regeln erklären</b>	Das Arbeitsmaterial und das Werkzeug aus der Erfinderkiste werden vorgestellt. Hinweis: kein Teamzwang.	<b>Plenum</b>	Werkzeug und Alltagsmaterial aus der Kiste, mitgebrachte Recyclingmaterialien
<b>5 min</b>	<b>Materialauswahl</b>	Kinder wählen die gewünschten Materialien aus und nehmen sie mit an ihren Platz.	Alleine oder in Gruppen bis 4 Kinder	
<b>30 min</b>	<b>Konstruktion und Erkundung</b>	Bauphase – wichtige Elemente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehler dürfen gemacht werden.</li> <li>• Fehler dürfen selbst analysiert werden. (Warum geht es so nicht?)</li> <li>• Ideen und Lösungsansätze dürfen zwischen Gruppen ausgetauscht werden.</li> </ul>	Alleine oder in Gruppen bis 4 Kinder	Werkzeug und Alltagsmaterial aus der Kiste, mitgebrachte Recyclingmaterialien, Impulskarten
<b>20 min</b>	<b>Reflexion</b>	Präsentation der aktuellen Konstruktion sowie des weiteren Vorhabens und evtl. Fragen nach Anregungen aus der Klasse. Hausaufgabe: Plan zeichnen und Materialliste schreiben.	<b>Plenum</b>	
<b>10 min</b>	<b>Aufräumen</b>			

## 2. Doppelstunde Konstruktion:

Zeit	Phase	Verlauf	Sozialform	Materialien
<b>5 min</b>	<b>Einstieg</b>	Pläne (Hausaufgabe) und begonnene Konstruktionen werden geholt, es können noch Fragen gestellt werden.	<b>Plenum</b>	Werkzeug und Alltagsmaterial aus der Kiste, mitgebrachte Materialien, Impulskarten
<b>55 min</b>	<b>Konstruktion und Abnahme</b>	Weiterarbeit am Fake-Arm in der gewählten Sozialform. Beratung durch Lehrkraft bei der Umsetzung der Konstruktionsideen, wo nötig. Wer fertig ist, überprüft nochmal, ob alle Punkte von der erstellten Liste erfüllt sind, dann darf der Arm getestet werden.	Alleine oder in Gruppen bis 4 Kinder	
<b>20 min</b>	<b>Reflexion</b>	Präsentation der Konstruktion und Wirkmechanismen.	<b>Plenum</b>	
<b>10 min</b>	<b>Aufräumen</b>			

### Einzelstunde Reflexion und Präsentation:

Zeit	Phase	Verlauf	Sozialform	Materialien
30 min	<b>Vorführen des Fake-Arms</b>	Die Gruppen führen ihren Arm vor und erklären seine Vorzüge und Wirkmechanismen, evtl. inklusive beispielhafter Bewertung	<b>Plenum</b>	
15 min		Was war gut und schlecht an dem Projekt. Was wurde gelernt für weitere Projekte?	<b>Plenum</b>	

**Anmerkung: Es empfiehlt sich, die letzte Einzelstunde als Doppelstunde zu planen!**

## VII Praxistipps und -beispiele für den Unterricht

Zur Erleichterung der herausfordernden Aufgabe beim Planen und Durchführen des Projektes sind in der Folge einige unterrichtspraktische Tipps und Tricks zusammengestellt.

Es sind verschiedene Lösungen für die Anforderungen des Fake-Arms möglich. So gibt es auch Lösungen, die nichts mehr mit einem Arm gemeinsam haben. Beispiele realisierter **Lösungsprinzipien** sind:

### Armbeuger-Prinzip

Der Hebel wird von unten nach oben bewegt.



Abb. 11: Armbeugerprinzip

### Roboterarm-Prinzip

Der Hebel wird von oben nach unten bewegt



Abb. 12: Roboterarm-Prinzip

### Fahrstuhl-Prinzip

Bei diesem Prinzip wird der Hebel in einem Gehäuse gerade von unten nach oben bewegt.

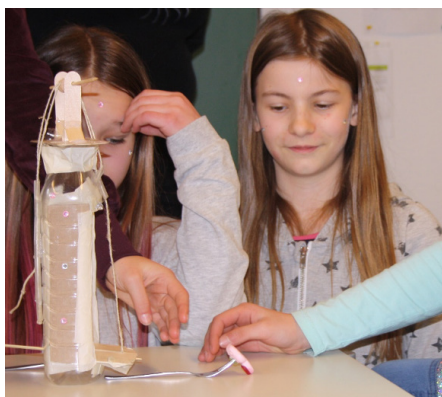


Abb. 13: Fahrstuhl-Prinzip

### Hängende Wippe

Der Hebel wird über Kopfhöhe aufgehängt und von oben nach unten bewegt.

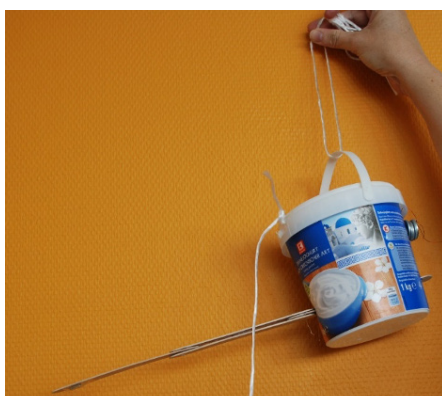


Abb. 14: Prinzip der hängenden Wippe

### Möglichkeiten der Hebelbewegung

In den allermeisten Fällen werden die Kinder ein Seil, manchmal auch Draht, benutzen, um ihren Hebel zu bewegen. Gelegentlich werden auch die langen Holzstäbe eingesetzt. Einige wenige Kinder verwenden Hydraulik, indem sie zwei Spritzen und einen Schlauch einsetzen, der allerdings mit Wasser gefüllt werden muss. Der Nachteil der Hydraulik ist, dass die Distanz, die überwunden werden kann, nicht besonders groß ist.

### Zweckmäßige Materialien und technische Verfahren

Für den Hebelarm eignen sich im Wesentlichen diese Materialien:

- Holzstöcke oder Holzleisten, weil sie stabil und belastbar sind. Man muss allerdings Löcher bohren, um eine Achse (Holzstäbchen) zu verwenden.
- Tetra Paks sind etwas sperrig, aber relativ stabil. Man kann sie als Hebelarm oder Halterung verwenden und sie zur Befestigung der Achsen sehr leicht durchbohren.
- Papprollen. Hier muss das Problem der gegenseitigen Blockierung und der Magnetbefestigung gelöst werden.
- Plastikflaschen, auch wenn sie schwer zu zerteilen sind. Sie sind perfekt für die Konstruktion von Kugelgelenken, die man mit Nylonstrümpfen fixieren kann.
- Holzspatel lassen sich mit einem kleinen Bohrer leicht durchbohren und mit Heißkleber aneinanderkleben. Zudem sind sie stabil genug, um eine Gabel zu heben.

Zur Einschränkung des Freiheitsgrades eignen sich die gleichen Lösungen wie beim Modell des Ellenbogens: Trinkhalme oder Schläuche, die nur die Bewegung in die gewünschte Richtung zulassen. Der Hebel kann jedoch auch „eingesperrt“ werden, indem er in einen Karton (oder in einen Tetra Pak) eingebaut wird. Es wird nur der Weg in die gewünschte Richtung freigeschnitten. Seile und dünne Drähte lassen sich gut durch Stücke von Trinkhalmen oder Schläuchen führen, damit sie sich nicht verheddern.

Wenn ein Zahnstocher oder Stab als Achse verwendet wird, muss er an den Seiten fixiert werden, damit die Achse nicht rausrutscht. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten, je nach Geschicklichkeit und Geduld der Kinder:

- Haushaltgummi um die Enden wickeln
- Kleine Stücke von Tetra Paks (oder Ähnlichem) zuschneiden, drauf stecken und mit Kleber fixieren
- Achse in einem äußeren Rahmen befestigen
- Heißkleber an den Enden anbringen

Auch hier gilt: Es **muss** funktionieren, es **darf** auch gut aussehen.

Nachfolgend drei Konstruktionsbeispiele für einen Fake-Arm einer Inklusionsklasse:



Abb. 15: Fake-Arm - Beispiel 1

Beim ersten Beispiel wurden zwei Tetra Paks an den nach außen gefalteten unteren Enden miteinander verbunden und seitlich von zwei Trinkhalmen mit Knick geführt, damit das obere Teil nicht zur Seite kippt. An der Hand aus Holzspateln ist der Magnet befestigt, der die Gabel greifen soll. Zwei Pfeifenputzer dienen als Zugvorrichtung zur Bewegung des Hebelarms. Bei dieser Konstruktion ist keine Achse notwendig, der Zugmechanismus ist einfach, aber effektiv. Der Hebel ist relativ kurz, so dass sich die meisten Menschen bücken müssen, um an die Gabel zu kommen. Eine Drehbewegung ist mit dieser Konstruktion nicht möglich. Das Problem wurde schnell, effektiv und mit wenig Materialaufwand gelöst.

Das Kind, das als erstes mit dieser Aufgabe fertig war, hatte wenig Erfahrung mit dem eigenständigen Lösen von Problemen. Es brauchte gelegentliche Impulse, um diese Lösung allein zu erarbeiten. Hinzu kamen (geringe) sprachliche Schwierigkeiten, da es erst vor 1,5 Jahren aus Syrien nach Deutschland gekommen war. Dieses Erfolgserlebnis löste einen großen Motivationsschub aus. In der Folge wurde das Kind von Klassenkameraden um Hilfe gebeten.

Diese zweite Konstruktion, des schon angesprochenen Roboter-Arms, ist deutlich komplexer. In der Kiste befindet sich eine Achse, die das Auf und Ab des Hebelarms ermöglicht. Der Hebelarm selbst wurde aus Holzspateln gebaut, an denen oben der Magnet

befestigt ist. Das Seil zum Heben des Hebelarms kann über eine Umlenkrolle geführt werden, was das Betätigen der Maschine von zwei Seiten ermöglicht. Der Hebelarm ist lang genug, um auch große Menschen zu füttern. Ein Drehen der Gabel ist auch hier nicht möglich.



Abb. 16: Fake-Arm - Beispiel 2

Diese Lösung ist recht aufwendig und es wurden noch ein paar Varianten (Einbau eines Motors, Achse zum Drehen der Gabel) ausprobiert. Fehlversuche haben die Gruppe kaum entmutigt. Fehler wurden erkannt und Alternativen gefunden sowie bewertet. Am Ende gab es eine funktionierende Lösung. Die beiden Kinder waren sehr kreativ und feinmotorisch offensichtlich geübt. Es war wichtig, sie hin und wieder an das zu lösende Problem zu erinnern, damit sie sich immer wieder auf das Wesentliche fokussierten.



Abb. 17: Fake-Arm - Beispiel 3

In diesem dritten Beispiel wird der Hebel aus Mundspateln an zwei Stellen mittels einer Hydraulik-Vorrichtung angehoben. Zwischen den beiden großen Säulen (nur eine sichtbar) befindet sich die Drehachse. Die Reichweite der Konstruktion reicht nicht aus, um die Gabel vom Tisch anzuheben. Dazu ist eine Erhöhung notwendig. Alles andere funktioniert einwandfrei. Diese Konstruktion ist ein gutes Beispiel dafür, wie der Wunsch, einen ganz bestimmten Wirkmechanismus (Hydraulik) zu verwenden, den Schüler dazu motiviert hat, sehr viel mehr Arbeit in seine Konstruktion zu investieren. Die Erhöhung des Tisches für die Gabel wurde bei der Bewertung als zulässig eingestuft, weil in der Aufgabenstellung nicht stand, dass sich Gabel und Maschine auf demselben Tisch befinden müssen.



## VIII Beurteilung der Schülerleistungen

Eine Konstruktionsaufgabe ist ein genauso schwieriges wie spannendes Lehr- und Lernprojekt. Das Ziel ist erreicht, wenn

- die Schülerinnen und Schüler offen und doch zielgerichtet Lösungen entwickeln,
- die Lösungen wohlwollend, aber dennoch kritisch bewertet werden,
- der Nutzen der Vergleichsmöglichkeit mit anderen Lösungen erkannt wird und
- einmal gefundene Lösungen immer wieder auf die Zielsetzungen hin überarbeitet werden.

Wenn das im Unterricht beobachtet werden kann, wurde tolle Arbeit geleistet!

Die Gefahren liegen im Spannungsfeld zwischen zu großer Offenheit und zu strikter Geschlossenheit. Es darf weder beliebig gebastelt werden, ohne die Anforderungen und Umgebungsbedingungen zu beachten, noch dürfen nach Anleitung Lösungen Anderer nachgebaut werden. In beiden Fällen kämen die Schülerinnen und Schüler zu materiellen, vorgezbaren Ergebnissen, würden aber die angestrebten Kompetenzen nicht erreichen. Alles, was funktioniert, ist richtig. Ob die Lösung gut oder schlecht funktioniert, hängt von den gesetzten Zielen ab. Lange Haltbarkeit wird nicht gefordert, Wartungsfreundlichkeit und Eignung für die Massenfertigung auch nicht. Daher ist die ganze Spannbreite von „schnell und einfach“ bis „komplex und raffiniert“ erst mal gleichwertig. Der Weg zum Ziel ist ein wichtiger Teil des Lernprozesses.

### Wichtige Kompetenzen beim Konstruieren

Das Vorgehen von Kindern beim Konstruieren ist sehr unterschiedlich und abhängig von Erfahrungen, handwerklichem Geschick und der Persönlichkeit. Es gibt nicht die eine richtige Arbeitsweise, so wie es auch nicht die eine richtige Lösung für eine Konstruktionsaufgabe gibt. Dennoch gibt es Kriterien, die für das Konstruieren wichtig sind und eine Bewertung ermöglichen. Die vorgeschlagenen Bewertungsfelder unterteilen sich in die Bereiche des Konstruktionsprozesses und der entstandenen Konstruktion (= Produkt), für die es jeweils eine Note gibt.

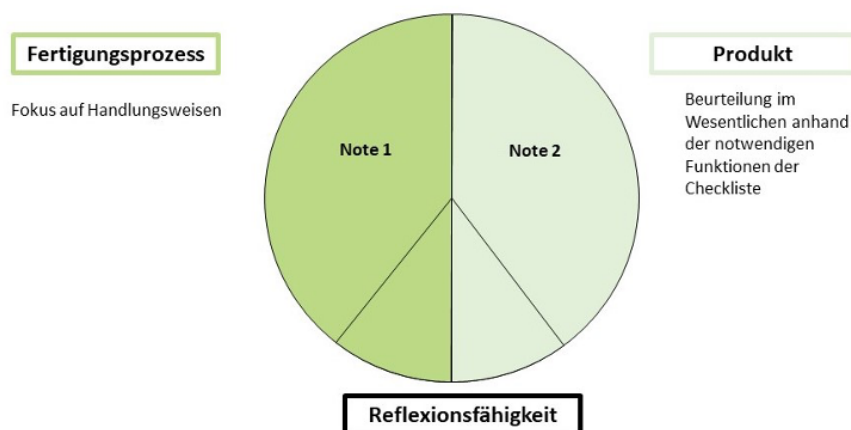


Abb. 18: Zusammensetzung der Note

### Der Konstruktionsprozess - Bewertung auf 3 Ebenen:

Um den Konstruktionsprozess bewerten zu können, wird das Augenmerk auf den Fertigungsprozess sowie die Reflexion des Konstruktionsablaufs gelegt.

Die ersten 9 Punkte befassen sich mit den Handlungsweisen. Mit den unteren drei Punkten wird die Reflexionsfähigkeit bewertet. Für jedes Kriterium werden Punkte von 1-5 vergeben. Maximal 60 Punkte können erreicht werden.

Kategorien	Punkte				
	1	2	3	4	5
<b>Der Fertigungsprozess (Fokus auf Handlungsweisen)</b>					
Der Schüler/ Die Schülerin arbeitet konzentriert an seiner/ ihrer Konstruktion.					
Der Schüler/ Die Schülerin nennt durchdachte Ideen zum aktuellen Vorgehen.					
Der Schüler/ Die Schülerin nennt Alternativen zum eigenen Vorgehen.					
Der Schüler/ Die Schülerin begründet seine/ihre Entscheidung für die gewählte Umsetzung.					
Der Schüler/ Die Schülerin erklärt Funktionsweisen der eigenen Konstruktion.					
Der Schüler/ Die Schülerin unterscheidet wichtige und unwichtige Funktionen.					
Der Schüler/ Die Schülerin erkennt eigene Fehler.					
Der Schüler/ Die Schülerin löst Probleme selbständig.					
Der Schüler/ Die Schülerin setzt Lösungsvorschläge um.					
<b>Reflexionsfähigkeit (Fokus auf die Metaebene des gesamten Konstruktionsablaufs)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Der Schüler/ Die Schülerin ...					
... kann seinen/ihren Konstruktionsablauf wiedergeben.					
... kann das Vorgehen seines/ihrer Konstruktionsablaufs begründen.					
... kann Alternativen zum eigenen Konstruktionsablauf benennen.					

Tab. 2: Benotungsraster Fertigungsprozess

Für Punkteverteilung schlagen wir diese Notenskala vor:

Punkte	Note	Punkte	Note
60	1	30	3-4
59		29	
58		28	
57	1-	27	4+
56		26	
55		25	
54	1-2	24	4
53		23	
52		22	
51	2+	21	4-
50		20	
49		19	
48	2	18	4-5
47		17	
46		16	
45	2-	15	5+
44		14	
43		13	
42	2-3	12	5
41		11	
40		10	
39	3+	9	5-
38		8	
37		7	
36	3	6	5-6
35		5	
34		4	
33	3-	3	6+
32		2	
31		1	
		0	6

Tab. 3: Notenskala Fertigungsprozess

**Bewertung des Produkts:**

Das Produkt wird anhand der Kriterien aus der Checkliste sowie der Reflexionsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler zum Produkt bewertet. Ästhetische Aspekte werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt, da der Fokus beim Konstruieren auf der Funktionalität des Produktes liegt. Hier macht es keinen Sinn, zwischen 1 und 5 zu differenzieren, die Beurteilungsspanne ist deutlich enger. Die unteren beiden Punkte befassen sich wieder mit der Reflexionsfähigkeit, die wieder eine Bewertungsspanne von 1-5 hat. Insgesamt können maximal 22 Punkte erreicht werden.

### Bewertung der entstandenen Konstruktion:

Kriterien	Punkte				
<b>Das Produkt</b>					
Das Produkt wurde fertiggestellt	0	1	2		
Die Gabel wird am Magneten gehalten	0	1	2		
Die Maschine schafft die Höhendistanz zum Mund	0	1	2		
Die Maschine enthält min. einen Mechanismus, mit dem die Gabel auf und ab bewegt werden kann.	0	1	2		
die Maschine ist transportabel	0	1	2		
die Maschine ist mehrfach nutzbar	0	1	2		
<b>Reflexion</b>					
Der/Die Schüler*in kann seine Konstruktion anhand der gestellten Kriterien (Checkliste) beurteilen	1	2	3	4	5
Der/ Die Schüler*in kann Verbesserungsmöglichkeiten für die eigene Konstruktion benennen	1	2	3	4	5

Tab. 4: Bewertungsraster Konstruktion

### Unser Vorschlag für die Noten aus der Punkteverteilung:

Punkte	Note
22+21	1
20	1-
19	1-2
18	2+
17	2
16	2-
15	2-3
14	3+
13	3
12	3-
11	3-4
10	4+
9+8	4
7	4-
6	4-5
5	5+
4	5
3	5-
2	6

Tab. 5: Notenskala Konstruktion

## 1. Kopiervorlagen

Phasen für die Konstruktion einer Fütter-Maschine	1
Baumaterial für die Konstruktion einer Fütter-Maschine	2
Bewertungsraster	3

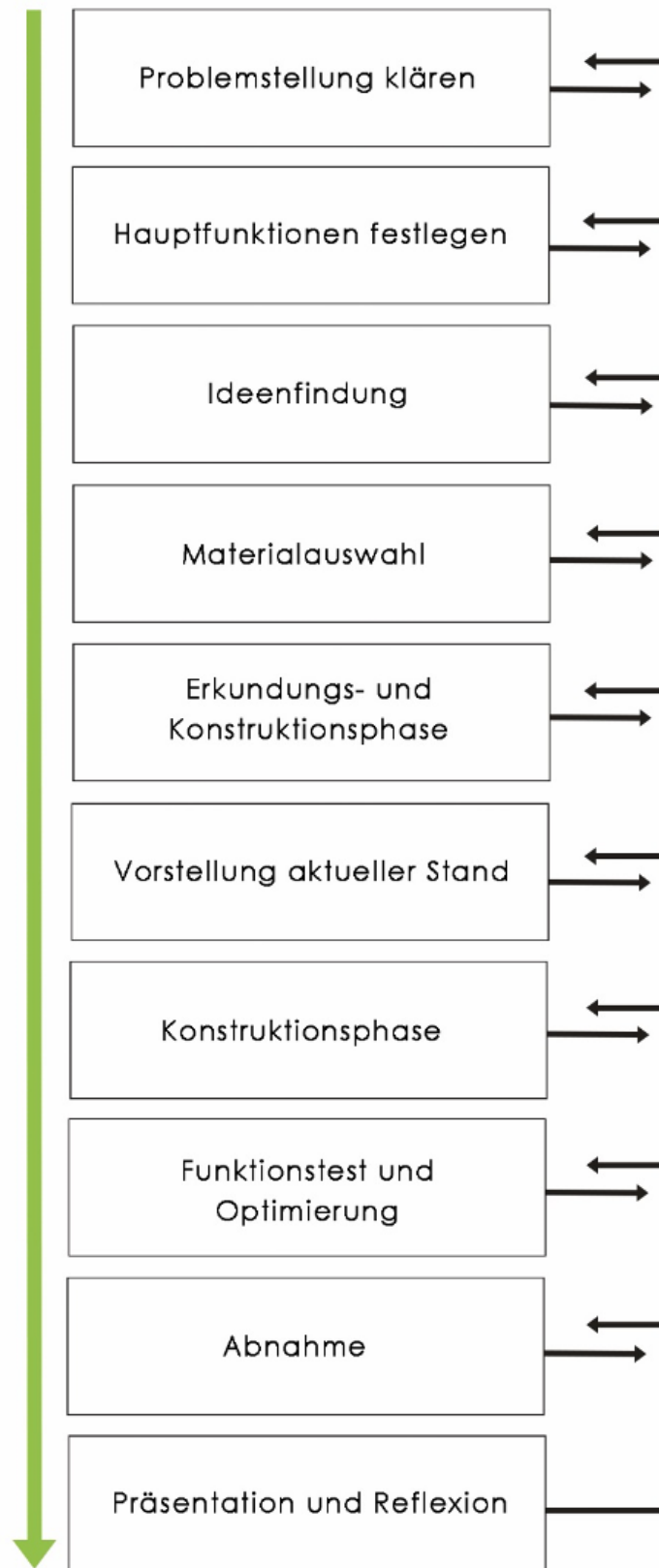
## 2. Arbeitsblätter

Beweglich sein	
Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten	
Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten - Lösungen	
Bewegung bei Insekten	
Bewegung bei Insekten - Lösungen	
Hydrostatisches Skelett	
Hydrostatisches Skelett - Lösungen	
Konstruktion einer Fütter-Maschine	

Die Inhalte sowie niveaudifferenzierte Arbeitsblattversionen stehen im Mitgliederbereich zum Download zur Verfügung:

<https://www.startlearning.info/fake-arm>

## Phasen für die Konstruktion einer Fütter-Maschine



Wir benötigen Baumaterial, das mitgebracht werden muss.

### **Geeignetes Baumaterial**

- Leere Tetra Paks (gut ausgespült)
- Stöcke (aus Holz, selbst gesammelt oder Reste)
- Alte Nylon-Strümpfe
- Leere Küchen- oder Klopapierrollen
- Einwegflaschen aus Plastik (gut ausgespült)
- Stabile Kunststoffverpackungen (z.B. Dosen für Tennisbälle)

Niemand muss alles dabei haben. Es wird ein Tisch mit allen Baumaterialien aufgebaut, an dem sich alle Kinder gleichermaßen bedienen dürfen.

Es darf auch gerne Material mitgebracht werden, das nicht auf der Liste steht, solange es nicht extra dafür gekauft wird.

Name: \_\_\_\_\_

## A) Fertigungsprozess

Kategorien	Punkte				
<b>Der Fertigungsprozess (Fokus auf Handlungsweisen)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Der Schüler/ Die Schülerin arbeitet konzentriert an seiner/ ihrer Konstruktion.					
Der Schüler/ Die Schülerin nennt durchdachte Ideen zum aktuellen Vorgehen.					
Der Schüler/ Die Schülerin nennt Alternativen zum eigenen Vorgehen.					
Der Schüler/ Die Schülerin begründet seine/ihre Entscheidung für die gewählte Umsetzung.					
Der Schüler/ Die Schülerin erklärt Funktionsweisen der eigenen Konstruktion.					
Der Schüler/ Die Schülerin unterscheidet wichtige und unwichtige Funktionen.					
Der Schüler/ Die Schülerin erkennt eigene Fehler.					
Der Schüler/ Die Schülerin löst Probleme selbständig.					
Der Schüler/ Die Schülerin setzt Lösungsvorschläge um.					
<b>Reflexionsfähigkeit (Fokus auf die Metaebene des gesamten Konstruktionsablaufs)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Der Schüler/ Die Schülerin ...					
... kann seinen/ihren Konstruktionsablauf wiedergeben.					
... kann das Vorgehen seines/ihrer Konstruktionsablaufs begründen.					
... kann Alternativen zum eigenen Konstruktionsablauf benennen.					

Gesamtpunktzahl: \_\_\_\_\_

Note für den Fertigungsprozess: \_\_\_\_\_



## B) Produkt

Kriterien	Punkte				
<b>Das Produkt</b>					
Das Produkt wurde fertiggestellt	0	1	2		
Die Gabel wird am Magneten gehalten	0	1	2		
Die Maschine schafft die Höhendistanz zum Mund	0	1	2		
Die Maschine enthält min. einen Mechanismus, mit dem die Gabel auf und ab bewegt werden kann.	0	1	2		
die Maschine ist transportabel	0	1	2		
die Maschine ist mehrfach nutzbar	0	1	2		
<b>Reflexion</b>					
Der/Die Schüler*in kann seine Konstruktion anhand der gestellten Kriterien (Checkliste) beurteilen	1	2	3	4	5
Der/ Die Schüler*in kann Verbesserungsmöglichkeiten für die eigene Konstruktion benennen	1	2	3	4	5

Gesamtpunktzahl: \_\_\_\_\_

Note für das Produkt: \_\_\_\_\_

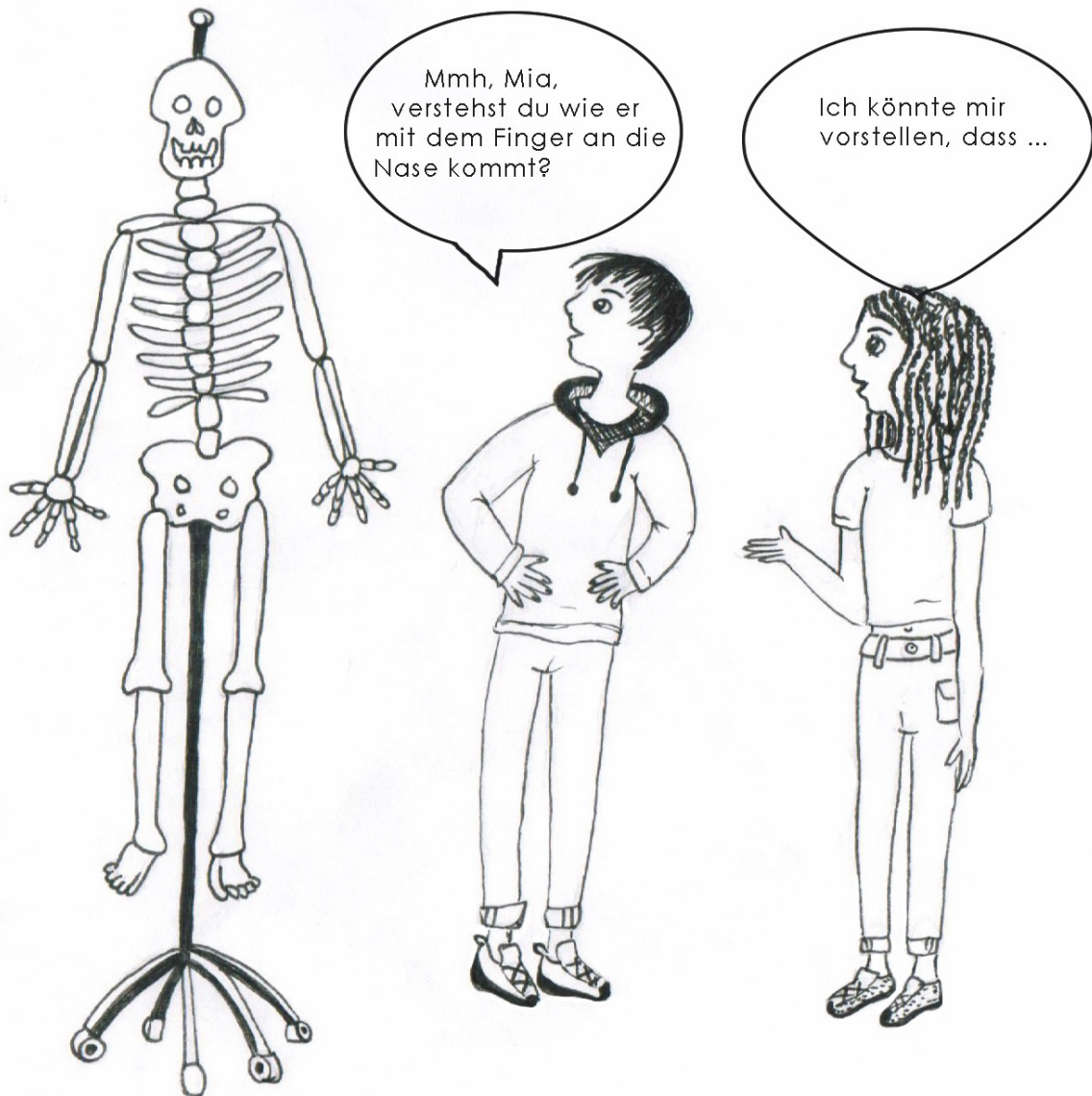
Gesamtnote: \_\_\_\_\_

Doppelstunde	Name des Arbeitsblatts	verfügbare Differenzierungen
1	Beweglich sein	---
	Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten	---
	Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten - <b>Lösungen</b>	---
2	Bewegung bei Insekten	Standard (3 Zahnräder) Mittel (2 Zahnräder) Einfach (1 Zahrand)
	Bewegung bei Insekten - <b>Lösungen</b>	Standard (3 Zahnräder) Mittel (2 Zahnräder) Einfach (1 Zahrand)
	Hydrostatisches Skelett	Standard (3 Zahnräder) Mittel (2 Zahnräder) Einfach (1 Zahrand)
	Hydrostatisches Skelett - <b>Lösungen</b>	Standard (3 Zahnräder) Mittel (2 Zahnräder) Einfach (1 Zahrand)
3	Konstruktion einer Fütter-Maschine	Standard (3 Zahnräder) Einfach (1 Zahrand)

In dieser Lehrerhandreichung finden Sie die jeweiligen Arbeitsblätter in der Schwierigkeitsstufe standard (gekennzeichnet durch 3 Zahnräder). Sofern für ein Arbeitsblatt differenzierte Versionen verfügbar sind, stehen diese im Mitgliederbereich zum Download zur Verfügung:

<https://www.startlearning.info/fake-arm>

## Beweglich sein



### Aufgabe 1

Was könnte Mia auf Bens Frage antworten? Ergänze ihren Satz in der Sprechblase.

---

---

---

## Beweglich sein



### Aufgabe 2

1. Entwickelt eine Idee, wie Muskeln und Knochen zusammenspielen können, um den Arm zu beugen und zu strecken.
2. Testet eure Idee, indem ihr dazu ein Modell mit den ausgelegten Materialien baut.



Abb. 1: Röntgenaufnahme eines Arms

### Tipps zum Vorgehen:

- Tauscht euch zunächst über eure Ideen zu einem Modell aus und entscheidet euch dann für eine der Ideen.
- Überlegt als nächstes, welche Materialien ihr für das Modell nutzen wollt. Macht hierfür entsprechende Zuordnungen und schreibt sie auf - zum Beispiel:
  - o Das Holzstück steht für den Oberarmknochen.
  - o Die Schnur steht für ...
  - o ... usw.

### Beim Bau:

Baut das Modell so stabil, dass ihr seine Funktionsweise später der Klasse zeigen könnt. Falls ihr während der Arbeit merkt, dass ihr andere Teile benötigt als ursprünglich gedacht, schreibt eure Planänderungen auf der Rückseite auf.

# Beweglich sein



### Aufgabe 3

Bewegung ist Teamarbeit von Muskeln und Knochen. Der Arm kann sich beugen und strecken. Die Abbildung zeigt, wie die Muskeln an den Knochen im Arm angeordnet sind, damit dieser beweglich ist. Vergleicht die Muskelanordnung in eurem Modell mit der des Originals.

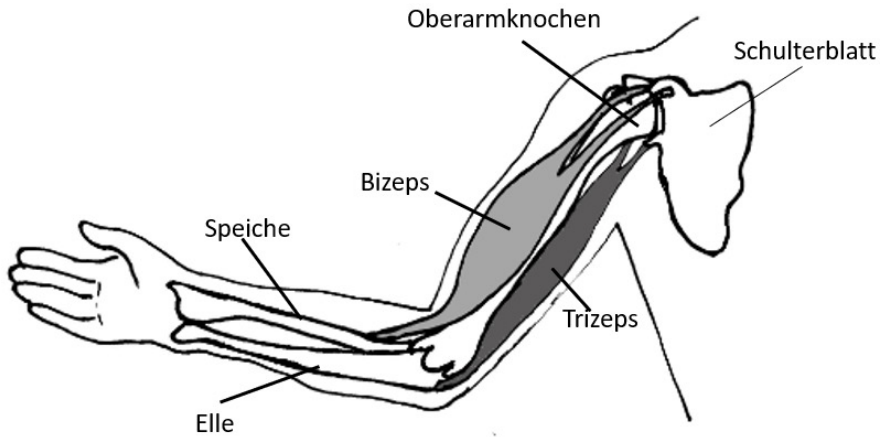


Abb. 2 : Muskulatur des Oberarms



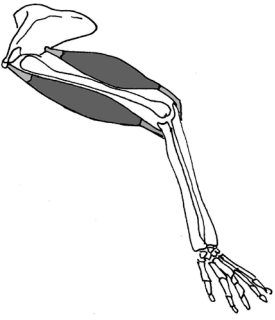
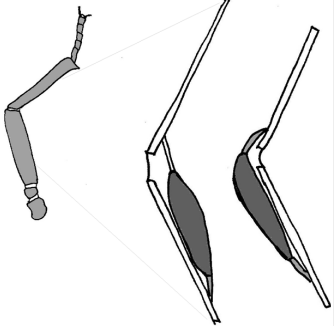
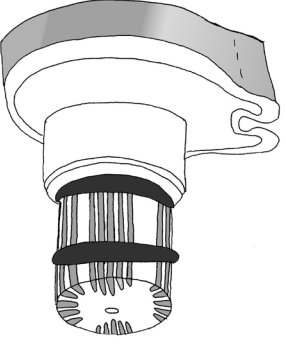
A Fertigt dazu eine eigene Skizze an. Nutzt die Rückseite, wenn ihr mehr Platz braucht.



B Notiert in der folgenden Tabelle, welcher Teil des Modells für welchen Teil des Ellbogens steht.

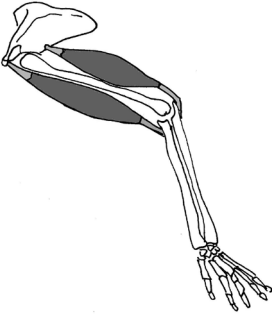
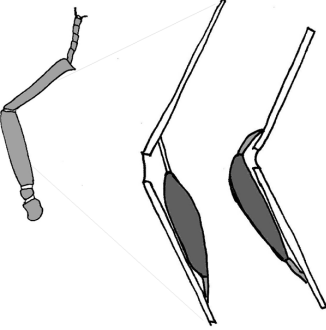
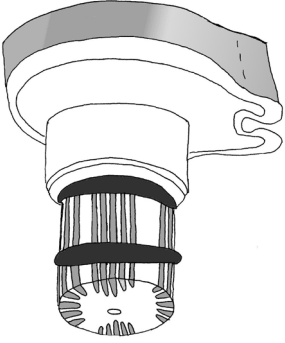
Ellbogen	Ellbogenmodell
Oberarmknochen	
Elle	
Speiche	
Bizeps	
Trizeps	

# Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten

<p><b>Aufgabe 1</b> Beantworte die Fragen in der Tabelle für jeden Skelett-Typ.</p>	<p>Endoskelett</p> 	<p>Exoskelett</p> 	<p>Hydrostatisches Skelett</p> 
<p>Welche Strukturen erzeugen die Bewegung?</p>			
<p>Gibt es starre Elemente?</p>			
<p>Wo liegen die starren Elemente?</p>			
<p>Welche Strukturen sorgen für eine Beweglichkeit?</p>			
<p>Gibt es ein Gegenspielerprinzip?</p>			



**Tabellarischer Überblick über die verschiedenen Skelettarten**

<p><b>Aufgabe 1</b> Beantworte die Fragen in der Tabelle für jeden Skelett-Typ.</p>	<p>Endoskelett</p> 	<p>Exoskelett</p> 	<p>Hydrostatisches Skelett</p> 
<p>Welche Strukturen erzeugen die Bewegung?</p>	<p>Muskeln</p>	<p>Muskeln</p>	<p>Muskeln</p>
<p>Gibt es starre Elemente?</p>	<p>Ja, Knochen</p>	<p>Ja, Chitinpanzer</p>	<p>Nein</p>
<p>Wo liegen die starren Elemente?</p>	<p>Innen</p>	<p>Außen</p>	<p>---</p>
<p>Welche Strukturen sorgen für eine Beweglichkeit?</p>	<p>Gelenke</p>	<p>Gelenke/ Gelenkhäute</p>	<p>Muskulatur und Flüssigkeiten</p>
<p>Gibt es ein Gegenspielerprinzip?</p>	<p>Ja</p>	<p>Ja</p>	<p>Ja</p>



## Bewegung bei Insekten

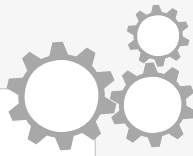


Wahnsinn, die schnellen  
Bewegungen der Beine!  
Aber Moment mal – ich  
sehe gar keine Muskeln!





## Bewegung bei Insekten



Wenn Insekten etwas anheben, greifen oder sich einfach nur bewegen, sehen wir nur, dass es passiert. Wir können auch keine Muskeln oder Strukturen sehen, die ihnen eine Bewegung ermöglichen. Selbst unter einer Lupe betrachtet, können wir nicht beobachten, wie sie sich bewegen.

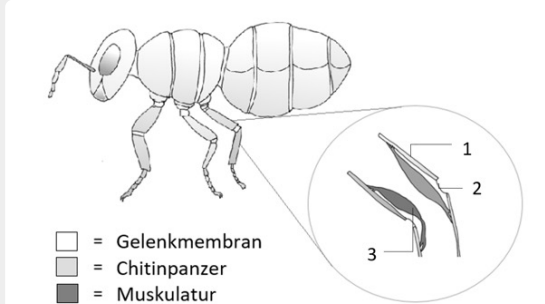


Abb. 1: Das Exoskelett der Insekten

1= Chitinpanzer; 2= Gelenkmembran; 3= Muskulatur

Ein Anspannen der Muskulatur wie bei unserem Unterarm, ist nicht zu erkennen. Wie können Insekten also ihre Bewegungen ausführen?

Betrachten wir Insekten genauer, können wir erkennen, dass sie außen gepanzert sind. Sie tragen ein Exoskelett (= Außenskelett), wie Abbildung 1 zeigt. Dieses umschließt ihren Körper vollkommen.

Dennoch sind Insekten beweglich. Ihr Außenskelett besteht aus mehreren Chitinplatten, die über Gelenkhäutchen (sogenannte Membranen) miteinander verbunden sind. Durch Muskelkraft können Insekten diese Chitinplatten bewegen, beziehungsweise heranziehen. Der Bau der an der Bewegung beteiligten Chitinplatten gibt dabei die Richtung der Bewegung vor. Im Gegensatz zu den Säugetieren liegt die Muskulatur der Insekten auf der Innenseite. Sie ist über Sehnen mit einzelnen Chitinplatten verbunden. Auch wenn die Muskulatur der Insekten an einer anderen Stelle als bei uns Menschen zu finden ist, so ist deren Funktion gleich wie bei unserer Muskulatur. Durch das Anspannen verkürzt sich auch hier der Muskel und eine Zugkraft wird durch die Sehnen auf das Exoskelett übertragen. Der mit dem Muskel verbundene Teil des Exoskeletts wird also herangezogen. Auch die Muskeln der Insekten können sich nur anspannen (= verkürzen). Zum Entspannen und Dehnen wird ein Gegenspieler benötigt. Als Gegenspieler kann ein anderer Muskel oder die Schwerkraft dienen.



### Aufgabe 1

Wie unterscheidet sich der Körperbau der Insekten von uns Menschen? Finde drei Unterschiede und unterstreiche diese grün im Text.



### Aufgabe 2

Fertige ein Cluster mit den gefundenen Informationen aus Aufgabe 1 an.

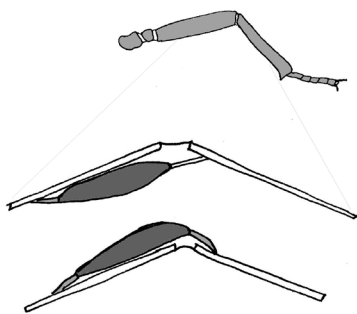


# Bewegung bei Insekten



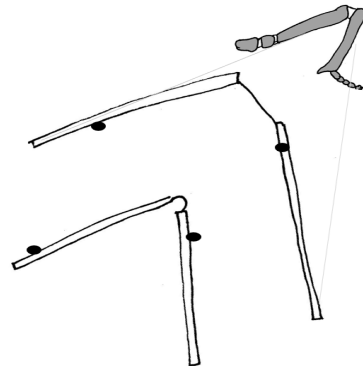
### Aufgabe 3

Betrachte die Abbildung eines Insektenbeins. Zeichne ein, welcher der Muskeln sich anspannen muss, um das Bein anzuwinkeln. Markiere den angespannten Muskel dunkel!



Bein „Normzustand“

Der Muskel oben und der Muskel unten sind beide entspannt.



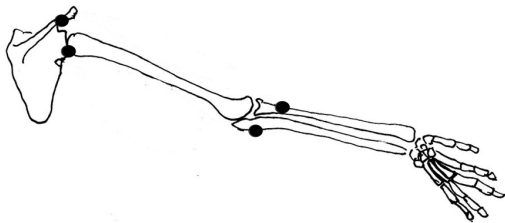
Bein stärker herangezogen

Oberer Muskel:  
  
Unterer Muskel:

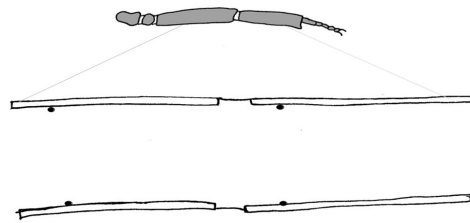


### Aufgabe 4

Zeichne die Muskulatur ein, die zur Ausführung einer Streckbewegung notwendig ist. Die schwarzen Punkte dienen als Ansatzpunkte für die Muskulatur. Markiere den angespannten Muskel dunkel!



Gestrecktes Ellenbogengelenk (Mensch)



Gestrecktes Insektenbein



### Aufgabe 5

Mensch und Insekt – unterschiedlich, aber dennoch ähnlich! Fülle die nachfolgende Tabelle aus.

Frage	Mensch	Insekt
Welche Organe verursachen die Bewegung?		
Welche Bestandteile sind starr?		
Wo sind die starren Bestandteile zu finden?		

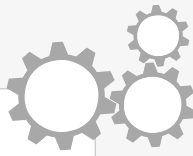
Beantworte die nachfolgende Frage:

Welche „Grundelemente für Bewegung“ sind bei Insekten und Menschen identisch?



Wahnsinn, die schnellen  
Bewegungen der Beine!  
Aber Moment mal – ich  
sehe gar keine Muskeln!





Wenn Insekten etwas anheben, greifen oder sich einfach nur bewegen, sehen wir nur, dass es passiert. Wir können auch keine Muskeln oder Strukturen sehen, die ihnen eine Bewegung ermöglichen. Selbst unter einer Lupe betrachtet, können wir nicht beobachten, wie sie sich bewegen.

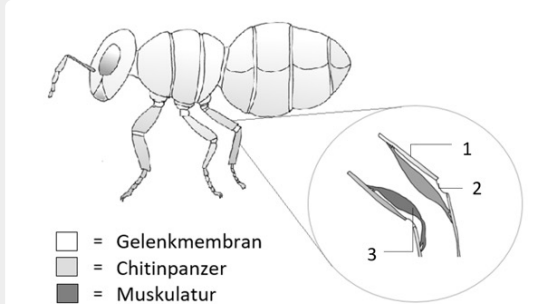


Abb. 1: Das Exoskelett der Insekten

1= Chitinpanzer; 2= Gelenkmembran; 3= Muskulatur

Ein Anspannen der Muskulatur wie bei unserem Unterarm, ist nicht zu erkennen. Wie können Insekten also ihre Bewegungen ausführen?

Betrachten wir Insekten genauer, können wir erkennen, dass sie außen gepanzert sind. Sie tragen ein **Exoskelett (= Außenskelett)**, wie Abbildung 1 zeigt. Dieses umschließt ihren Körper vollkommen.

Dennoch sind Insekten beweglich. Ihr Außenskelett besteht aus mehreren Chitinplatten, die über **Gelenkhäutchen (sogenannte Membranen)** miteinander verbunden sind. Durch Muskelkraft können Insekten diese Chitinplatten bewegen, beziehungsweise heranziehen. Der Bau der an der Bewegung beteiligten Chitinplatten gibt dabei die Richtung der Bewegung vor. Im Gegensatz zu den Säugetieren liegt die **Muskulatur der Insekten auf der Innenseite**. Sie ist über Sehnen mit einzelnen Chitinplatten verbunden. Auch wenn die Muskulatur der Insekten an einer anderen Stelle als bei uns Menschen zu finden ist, so ist deren Funktion gleich wie bei unserer Muskulatur. Durch das Anspannen verkürzt sich auch hier der Muskel und eine Zugkraft wird durch die Sehnen auf das Exoskelett übertragen. Der mit dem Muskel verbundene Teil des Exoskeletts wird also herangezogen. Auch die Muskeln der Insekten können sich nur anspannen (= verkürzen). Zum Entspannen und Dehnen wird ein Gegenspieler benötigt. Als Gegenspieler kann ein anderer Muskel oder die Schwerkraft dienen.



### Aufgabe 1

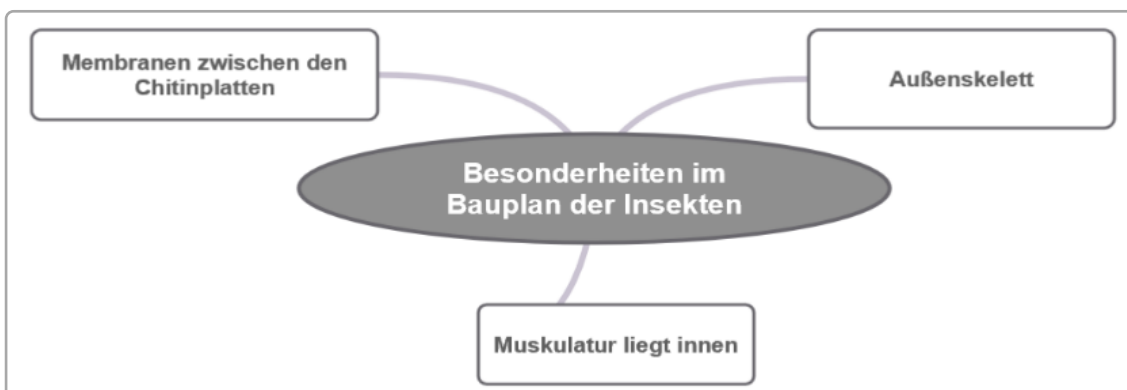
Wie unterscheidet sich der Körperbau der Insekten von uns Menschen? Finde drei Unterschiede und unterstreiche diese grün im Text.

1. Exoskelett (= Außenskelett)
2. Gelenkhäutchen (sogenannte Membranen)
3. Muskulatur der Insekten auf der Innenseite



### Aufgabe 2

Fertige ein Cluster mit den gefundenen Informationen aus Aufgabe 1 an.



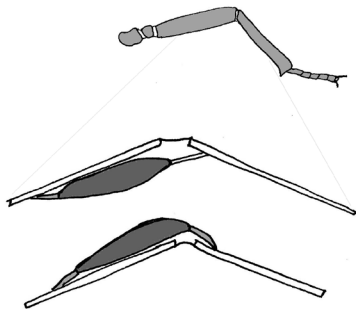


# Bewegung bei Insekten – Lösungen



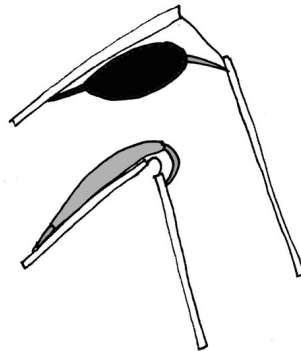
### Aufgabe 3

Betrachte die Abbildung eines Insektenbeins. Zeichne ein, welcher der Muskeln sich anspannen muss, um das Bein anzuwinkeln. Markiere den angespannten Muskel dunkel!



Bein „Normzustand“

Der Muskel oben und der Muskel unten sind beide entspannt.



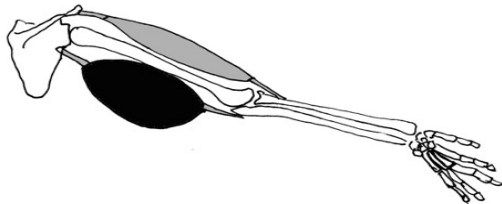
Bein stärker herangezogen

**Oberer Muskel:** ist stark angespannt (verdickt und verkürzt)  
**Unterer Muskel:** ist lang gedehnt

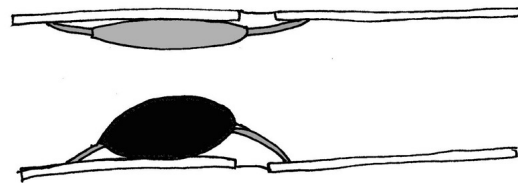


### Aufgabe 4

Zeichne die Muskulatur ein, die zur Ausführung einer Streckbewegung notwendig ist. Die schwarzen Punkte dienen als Ansatzpunkte für die Muskulatur. Markiere den angespannten Muskel dunkel!



Gestrecktes Ellenbogengelenk (Mensch)



Gestrecktes Insektenbein



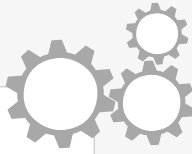
### Aufgabe 5

Mensch und Insekt – unterschiedlich, aber dennoch ähnlich! Fülle die nachfolgende Tabelle aus.

Frage	Mensch	Insekt
Welche Organe verursachen die Bewegung?	Muskulatur	Muskulatur
Welche Bestandteile sind starr?	Knochen	Chitinpanzer
Wo sind die starren Bestandteile zu finden?	Innen	Außen

Welche „Grundelemente für Bewegung“ sind bei Insekten und Menschen identisch?

- Es gibt bewegliche und starre Bestandteile
- Muskeln sorgen für Bewegung
- Muskeln können sich nur anspannen
- Sie brauchen einen Gegenspieler

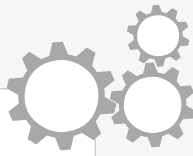


Jim ist gerade in der Stadt. Da ihm langweilig ist, will er sein Handy aus der Tasche nehmen, um ein bisschen zu zocken. Er bleibt mit seinem Smartphone an der Hosentasche hängen und es fällt ihm aus der Hand. Dummerweise steht er direkt in der Nähe eines Abwasser-schachts.

Das Handy fällt hinein und bleibt direkt nach der nächsten Rohrbiegung liegen, so dass er nur noch das Licht des Smartphones sehen kann.

Der Schacht ist zu tief, um mit seinen Armen an das Handy zu gelangen. Außerdem müsste er um die Ecke greifen können. Es ist zum Verzweifeln ...

## Arbeitsauftrag



### Aufgabe 1

Lies den vor dir liegenden Text (entweder A oder B) aufmerksam durch und bearbeite die zugehörigen Aufgaben (mit Bleistift). (10min)



### Aufgabe 2

Triff dich mit einem anderen Schüler, der denselben Text wie du gelesen hat, und besprich mit ihm deinen Text und die Aufgaben. (5min)



### Aufgabe 3

Bildet nun Vierergruppen, so dass je zwei von euch einen anderen Text gelesen haben. Erklärt euch den Inhalt eurer Texte gegenseitig. (5 min)



### Aufgabe 4

Bearbeite die Aufgaben auf der Rückseite deines Arbeitsblattes eigenständig.



## A: Greifen ohne Knochen und Gelenke?



### Aufgabe

Lies den Text und unterstreiche die Antworten auf folgende Fragen:

1. Warum können Tentakeln in alle Richtungen bewegt werden?
2. Welche Muskeltypen gibt es?
3. Wie wird ein Tentakel länger oder kürzer?
4. Wie wird ein Tentakel hin- und herbewegt?



Oktopusse gehören zu den Weichtieren, d.h. sie haben kein starres Skelett und somit auch keine Gelenke, die eine Bewegungsrichtung vorgeben. Ihr bekanntestes Merkmal sind wohl ihre acht Arme, mit denen sie nach Beute in den verwinkeltsten Verstecken greifen. Mit ihren Fangarmen können Oktopusse sehr kraftvoll und präzise zupacken. Gleichzeitig sind sie sehr beweglich. Doch wie funktioniert so ein Fangarm, wenn er doch gar keine Knochen oder Gelenke enthält?

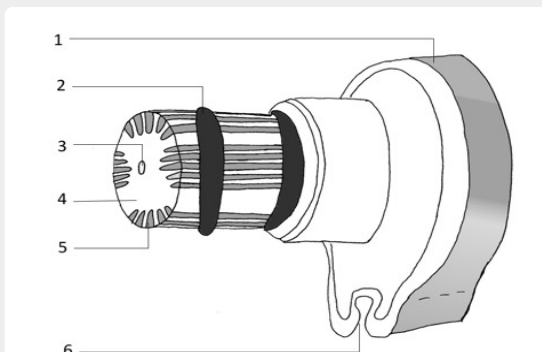


Abb. 1: Querschnitt durch einen Oktopusarm, vereinfachte Darstellung nach: KIER (1985)

- 1=Haut; 2=Schrägmuskulatur;  
3=Nervenstrang, 4=Quermuskulatur;  
5 = Längsmuskulatur, 6 = Saugnapf

Die Fangarme von Oktopussen bestehen aus einer Vielzahl von Muskeln (vgl. Abb. 1). Wir können uns den Arm wie ein muskelbepacktes Rohr vorstellen. Darin liegen drei verschiedene Muskeltypen. Der Oktopus hat eine Längsmuskulatur, die entlang der Längsachse im Oktopusarm liegt (vgl. Abb. 2). Wird die Längsmuskulatur angespannt, verkürzt sie sich, wodurch der gesamte Arm kürzer wird.

Außerdem verfügt der Oktopus über eine Quermuskulatur und eine Schrägmuskulatur. Mithilfe dieser beiden Muskeltypen

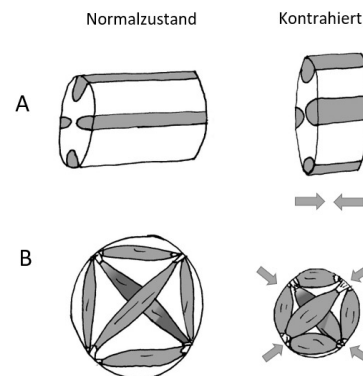


Abb. 2: Muskeln im Oktopusarm

- A) Längsmuskulatur  
B) Quer- u. Schrägmuskulatur

kann er seine Fangarme strecken. Längsmuskulatur und Quer- sowie Schrägmuskulatur sind in diesem Fall Gegenspieler. In Abb. 3 wird erklärt, wie das Zusammenspiel der Muskeln funktioniert. Ist die Längsmuskulatur angespannt, kann der Arm verkürzt werden. Wird der Arm durch die Muskelanspannung verkürzt, verbreitert sich sein Durchmesser (Abb. 3: B) Verkürzter Arm).

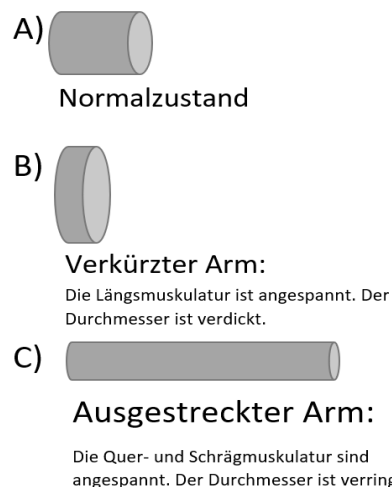
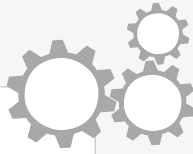


Abb. 3: Funktion der Armausdehnung beim Fangarm des Oktopusses



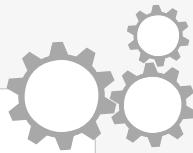
## A: Greifen ohne Knochen und Gelenke?



Der Arm sieht nun kurz und dick aus. Dabei übt die Längsmuskulatur Druck auf die Quer- und Schrägmuskulatur aus, wodurch diese gedehnt wird. Will der Tintenfisch seinen Fangarm ausstrecken, spannt er Quer- und Schrägmuskulatur an, dadurch wird der Durchmesser des Fangarms verkleinert (Abb. 2: C) Ausgestreckter Arm). Die Quer- und Schrägmuskulatur übt dabei Druck auf die Muskelmasse der Längsmuskulatur aus, wodurch diese – wie bei einer Zahnpastatube – nach vorne gedrückt wird.

Durch die Anspannung bestimmter Teile der Längsmuskulatur kann der Oktopus seine Arme in alle Richtungen hin- und herbiegen. Spannt er etwa die rechte Seite eines Fangarmes an, erfolgt eine Rechtsbewegung.

## B: Auch Wirbeltiere kennen knochenlose Bewegungen



### Aufgabe

Lies den Text und unterstreiche die Antworten auf folgende Fragen:

1. Warum können Rüssel in alle Richtungen bewegt werden?
2. Welche Muskeltypen gibt es?
3. Wie wird ein Rüssel länger oder kürzer?
4. Wie wird ein Rüssel rauf und runter bewegt?



Der Rüssel von Elefanten hat keine Knochen. Er hat sich aus der Oberlippe und der Nase entwickelt und ist ein echtes Universalwerkzeug. Er ist so stark, dass Elefanten damit schwere Bäume ausreißen können und gleichzeitig so sensibel, dass die kleinsten Grashalme gepflückt werden können. Ein weiteres herausragendes Merkmal ist, dass der Elefantenrüssel in alle Richtungen bewegt werden kann. Den Elefantenrüssel können wir uns, wie Abb. 4 zeigt, als muskulären Schlauch vorstellen.

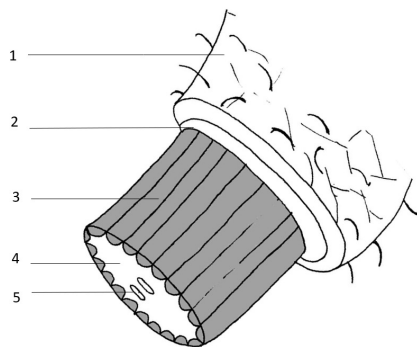


Abb. 4: Querschnitt durch einen Elefantenrüssel  
vereinfachte Darstellung nach Kier (1985)

- 1= Haut; 2= Bindegewebe;  
3= Längsmuskulatur;  
4= Quermuskulatur; 5= Nasenlöcher

len. In seinem Inneren befinden sich zwei hohle Rohre, durch die der Elefant atmen oder Wasser aufsaugen kann. Diese beiden Hohlrohre sind von 40.000 Muskeln umgeben. Elefanten besitzen verschiedene Muskelstränge (Abb. 5). Sie haben eine Längsmuskulatur, die parallel zum Rüssel verläuft und eine Quermuskulatur, deren Muskeln quer durch den Rüssel verlaufen.

Elefanten können ihren Rüssel verkürzen, indem sie ihre Längsmuskulatur anspannen. Dabei vergrößert sich der Durchmesser des Rüssels und die Quermuskulatur wird in die Länge gezogen (Abb.5: A).

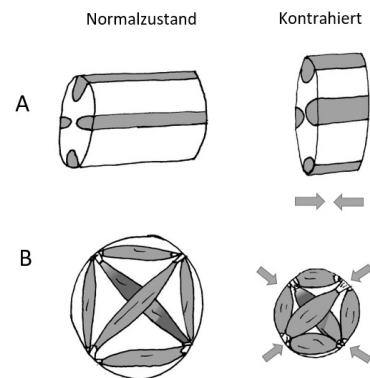


Abb. 5: Muskeln im Elefantenrüssel:

- A) Längsmuskulatur  
B) Quermuskulatur

Außerdem ermöglicht die Längsmuskulatur eine Biegebewegung des Rüssels. Wenn der Elefant seinen Rüssel heben will (vgl. Abb. 6: Heben und Senken des Rüssels), spannt er nur die Längsmuskulatur auf der Oberseite des Rüssels an. Diese verkürzt sich und zieht den Rüssel nach oben. Soll der Rüssel wieder gesenkt werden, wird entweder die Längsmuskulatur auf der Unterseite angespannt, oder der Elefant lässt die Schwerkraft als Gegenspieler arbeiten.

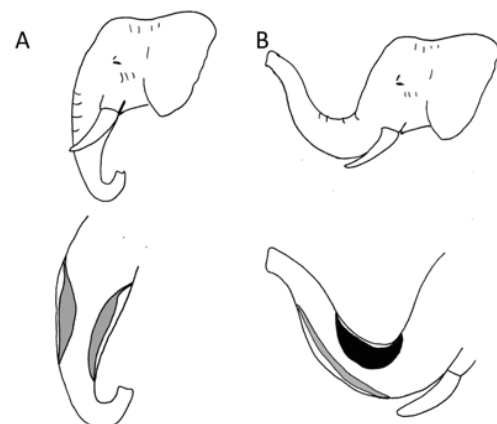
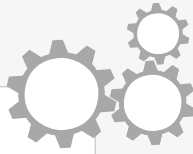


Abb. 6: Heben und Senken des Rüssels:  
Durch Anspannung der oberen Längsmuskulatur kann ein Rüssel angehoben werden.

## B: Auch Wirbeltiere kennen knochenlose Bewegungen



Die Schwerkraft lässt den Rüssel sinken, dadurch wird die obere Längsmuskulatur gedehnt.

Elefanten könne ihren Rüssel auch strecken. Hierbei wird die Quermuskulatur im Inneren des Elefantenrüssels angespannt. Zieht sich diese zusammen, wird

der Durchmesser des Rüssels verringert (Abb. 5: B) und übt so Druck auf die Längsmuskulatur aus. Die Längsmuskulatur kann dem Druck nicht weichen, also wird sie – wie bei einer Zahncremetube – in die Länge gedrückt.

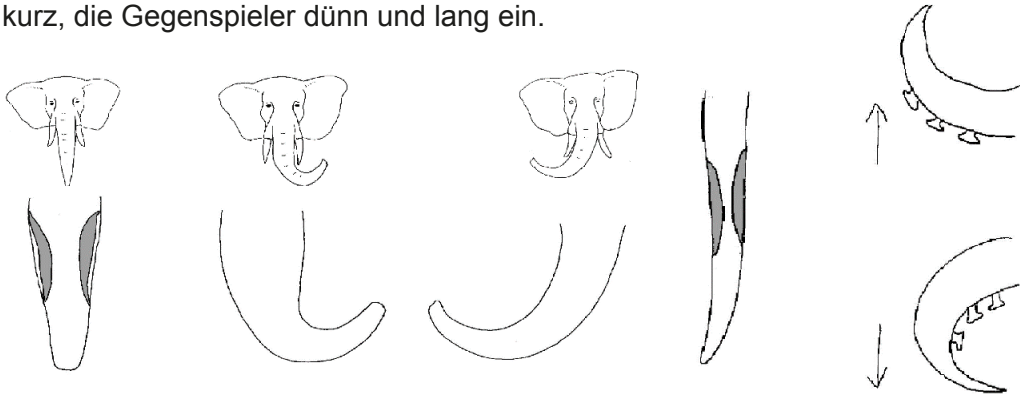


# Hydrostatisches Skelett



### Aufgabe 1

Die Abschnitte der Längsmuskulatur können unabhängig voneinander angespannt werden. Welche Abschnitte müssen angespannt sein, damit die folgenden Bewegungen ausgeführt werden können? Zeichne die angespannten Muskeln dunkel, dick und kurz, die Gegenspieler dünn und lang ein.



### Aufgabe 2

Betrachte die Abbildung genau. Erkläre, in welchen Phasen welche Muskelgruppen angespannt sind. Begründe deine Entscheidung.

Phase		Welche Muskeln sind angespannt? Begründung?
1		Längsmuskulatur, weil der Arm dick und kurz ist.
2		
3		
4		
5		
6		



### Aufgabe 3

Fülle die Tabelle stichwortartig aus.

Frage	Oktopus	Elefant
Welche Muskeln sind Gegenspieler bei Links- Rechts-Bewegungen?		
Welche Muskeln sind Gegenspieler bei Streckbewegungen?		
Warum können Rüssel oder Tentakeln in alle Richtungen bewegt werden?		

## Hydrostatisches Skelett



### Differenzierungsaufgabe:

Baue ein Tentakel-/Rüsselmodell.

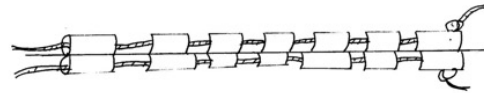
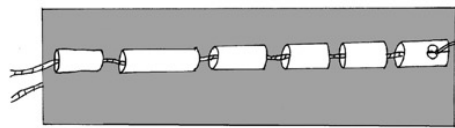
#### Material:

Tonpapier (4 cm x 20 cm), 2 Strohhalme, 2 Schnüre (30 cm lang), Schere, Klebeband.

#### Durchführung:

1. Schneide die Strohhalme in jeweils 6 Teile.
2. Fixiere alle Teile (mit kurzen Abständen) beidseitig an deinem Tonpapierstreifen.
3. Ziehe die Fäden durch und fixiere sie an einem Ende (vgl. Abbildung).

Erkläre mithilfe deines Modells die Funktion eines Tentakels/Rüssels deinem Nebensitzer. Überlegt euch, welche Bewegungsrichtung ihr nicht mit dem Modell erklären könnt.

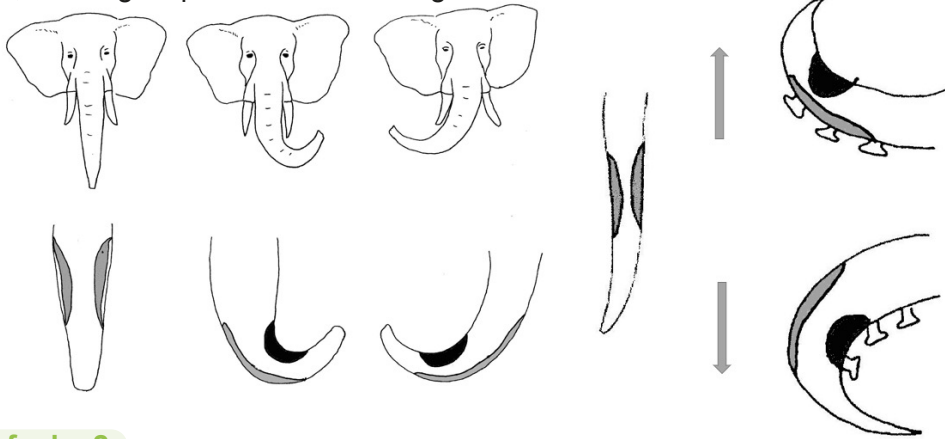


# Hydrostatische Skelette - Lösungen



### Aufgabe 1

Die Abschnitte der Längsmuskulatur können unabhängig voneinander angespannt werden. Welche Abschnitte müssen angespannt sein, damit die folgenden Bewegungen ausgeführt werden können? Zeichne die angespannten Muskeln dunkel, dick und kurz, die Gegenspieler dünn und lang ein.



### Aufgabe 2

Betrachte die Abbildung genau. Erkläre, in welchen Phasen welche Muskelgruppen angespannt sind. Begründe deine Entscheidung.

Phase		Welche Muskeln sind angespannt? Begründung?
1		Längsmuskulatur, weil der Arm dick und kurz ist.
2		Längsmuskulatur, weil der Arm dick und kurz ist.
3		
4		Längsmuskulatur, weil der Arm langsam zurückgezogen wird.
5		
6		

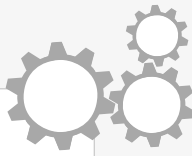


### Aufgabe 3

Fülle die Tabelle stichwortartig aus.

Frage	Oktopus	Elefant
Welche Muskeln sind Gegenspieler bei Links- Rechts-Bewegungen?	Die Längsmuskulatur an den gegenüberliegenden Seiten	Die Längsmuskulatur an den gegenüberliegenden Seiten
Welche Muskeln sind Gegenspieler bei Streckbewegungen?	Längsmuskulatur und Quer- / Schrägmuskulatur	Längsmuskulatur und Quermuskulatur
Warum können Rüssel oder Tentakeln in alle Richtungen bewegt werden?	Sie haben keine starren Elemente/ Knochen	

## Hydrostatische Skelette - Lösungen



### Differenzierungsaufgabe:

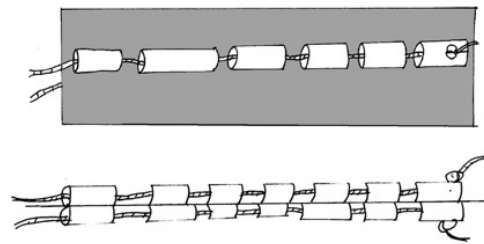
Baue ein Tentakel-/Rüsselmodell.

#### Material:

Tonpapier (4 cm x 20 cm), 2 Strohhalme, 2 Schnüre (30 cm lang), Schere, Klebeband.

#### Durchführung:

1. Schneide die Strohhalme in jeweils 6 Teile.
2. Fixiere alle Teile (mit kurzen Abständen) beidseitig an deinem Tonpapierstreifen.
3. Ziehe die Fäden durch und fixiere sie an einem Ende (vgl. Abbildung).



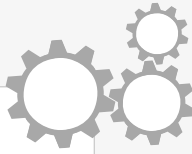
Erkläre mithilfe deines Modells die Funktion eines Tentakels/ Rüssels deinem Mitschüler.

Die Strohalmstücke entsprechen der Längsmuskulatur des Rüssels/ Tentakels. Zieht man an der Schnur, entspricht dies der Verkürzung der Muskeln. Verkürzen sich die Muskeln rechts, bewegt sich der Rüssel nach rechts. Gleiches gilt für eine Linksbewegung.

Überlegt euch, welche Bewegungsrichtung ihr nicht mit dem Modell erklären könnt.

Eine Streckbewegung kann mit dem Modell nicht erzeugt werden. Die Quer- und/ oder Schrägmuskulatur fehlt. Außerdem kann keine Verdickung oder Verdünnung herbeigeführt werden.

## Konstruktion einer Fütter-Maschine



Könnt ihr eine Maschine zum Füttern bauen?  
Eine Maschine, die besser funktioniert als die Frühstücksmaschine im Video?

Die Aufgabe lautet: Baue eine Fütter-Maschine:

Die tragbare Maschine soll einen am Tisch sitzenden Menschen mit einer Weintraube füttern.

Die Weintraube wird mit einer Gabel aufgespießt (dies geschieht per Hand!). Die Gabel wird von einem am Arm befestigten Magneten gehalten. Die Maschine muss die Gabel aufnehmen, hochheben und zum Mund führen können. Dabei soll die Gabel gezogen, geschoben oder mit einem anderen Mechanismus bewegt werden.



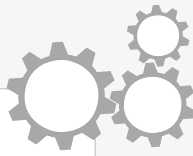
### Aufgabe 1

Funktionen festlegen

Bevor ihr beginnt, müsst ihr euch überlegen, was die Maschine können oder haben muss. Füllt dafür am besten die Checkliste aus.

Hauptfunktionen (genau beschreiben!)	Zusatzfunktionen





## Konstruktion einer Fütter-Maschine



### Aufgabe 2

Sichtet das Material und wählt aus, was ihr für eure Konstruktion braucht. Denkt dabei an alle Hauptfunktionen! Vielleicht hilft es euch, eine erste Skizze eurer Konstruktion anzufertigen.

Sollte etwas nicht funktionieren, dann überlegt, warum es nicht funktioniert und was ihr anders machen könnt (Material, Verbindungsart, ...). Fragt gegebenenfalls andere Kinder nach Ideen oder schaut euch die Konstruktionen der anderen an.

### Beachtet!

Nachmachen ist erlaubt, Machen lassen ist verboten.

Die Lehrkraft wird nur gefragt, wenn gar nichts mehr geht.



### Aufgabe 3

Zwischenstand erfassen

Der Unterricht ist zu Ende, aber eure Konstruktion ist noch nicht fertig. Ihr habt jetzt Zeit zu überlegen, ob ihr bei eurem ursprünglichen Plan bleiben wollt. Alternativ könnt ihr etwas ändern oder von vorne anfangen. Für die nächste Stunde habt ihr die Möglichkeit, zusätzliches kostenloses Material mitzubringen. Fertigt vielleicht eine Skizze an und schreibt auf jeden Fall auf, welches Material ihr verwendet habt.

Skizze/Notizen (Wenn ihr mehr Platz braucht, nutzt eine der Rückseiten!)

# Konstruktion einer Fütter-Maschine



## Verwendetes Material:



## Aufgabe 4

### Konstruieren mit Abnahme

Die Maschine soll fertig werden. Zunächst überprüft ihr anhand der Checkliste, ob alle erforderlichen Funktionen erfüllt sind.

Hauptfunktionen	Erfüllt?
Die Maschine kann das Gewicht einer Gabel und einer Weintraube halten und heben.	
Die Maschine kann einen Höhenunterschied von mindestens 20 cm überwinden.	
Die Maschine ist transportabel.	
Eine Zug- oder Schiebe-Vorrichtung oder ein anderer Mechanismus bewegt die Maschine.	
Die Maschine funktioniert mehrmals.	

Wenn dem so ist, dann kann die Abnahme durch eure Lehrkraft erfolgen, die ebenso eine Prüfung der Hauptfunktionen vornimmt. Ist alles erfüllt, so ist die Abnahme erfolgreich.

Wenn ihr noch Zeit habt, könnt Ihr eure Maschine jetzt weiter optimieren oder Extras einbauen.

### Hausaufgabe:

Stellt euch vor, ein Freund oder eine Freundin will auch eine Fütter-Maschine konstruieren. Beschreibt ihm/ihr, wie ihr vorgegangen seid. Welche Fragen müssen vor der Konstruktion geklärt werden?

Was muss bei der Arbeit beachtet werden?

Geht auch darauf ein, was aus Fehlversuchen gelernt werden kann.

Bestandsliste der Kiste zur Konstruktion eines „Fake-Arms“

Anzahl	Werkzeug:
1	Locher
1	Heißklebepistole
	Patronen für die Heißklebepistole
2	Cuttermesser
1	Handspiralbohrer
1	Drehbohrer
6	Drehbohrer-Aufsätze (3mm und 4mm)
1	Tesa-Abroller
1	PUK-Säge
2	Kombizange (blau)
2	kleine Seitenschneider (rot)
2	Vorstecher
2	Prickelnadeln
	<b>Verbrauchsmaterial:</b>
200	Chenilledraht (Pfeifenputzer)
500	Schaschlickspieße
200	Strohhalme
500	Holzspatel
50	Einwegspritzen
5 Pck	Schlauch, transparent
5 Rollen	Kreppklebeband
2 Rollen	Schnur
100	Magnete
3 Rollen	Tesa
1 Pck	Haushaltsgummis
6	Ersatz-Sägeblätter PUK-Säge
3	kleine Gabeln
100	Zahnstocher
100	Musterklammern
100	Kabelbinder
10 Pck	Schnurlaufräder
1 Rolle	Draht
	<b>Modelle:</b>
20	Holzleisten-Modelle