

Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Reutlingen  
Alteburgstr. 150 (Geb. FH 7)  
72762 Reutlingen

## Ausarbeitung zum NWA – Tag 2007

### „Der ATP- Lastwagen – ein Modell zur Energieumwandlung“

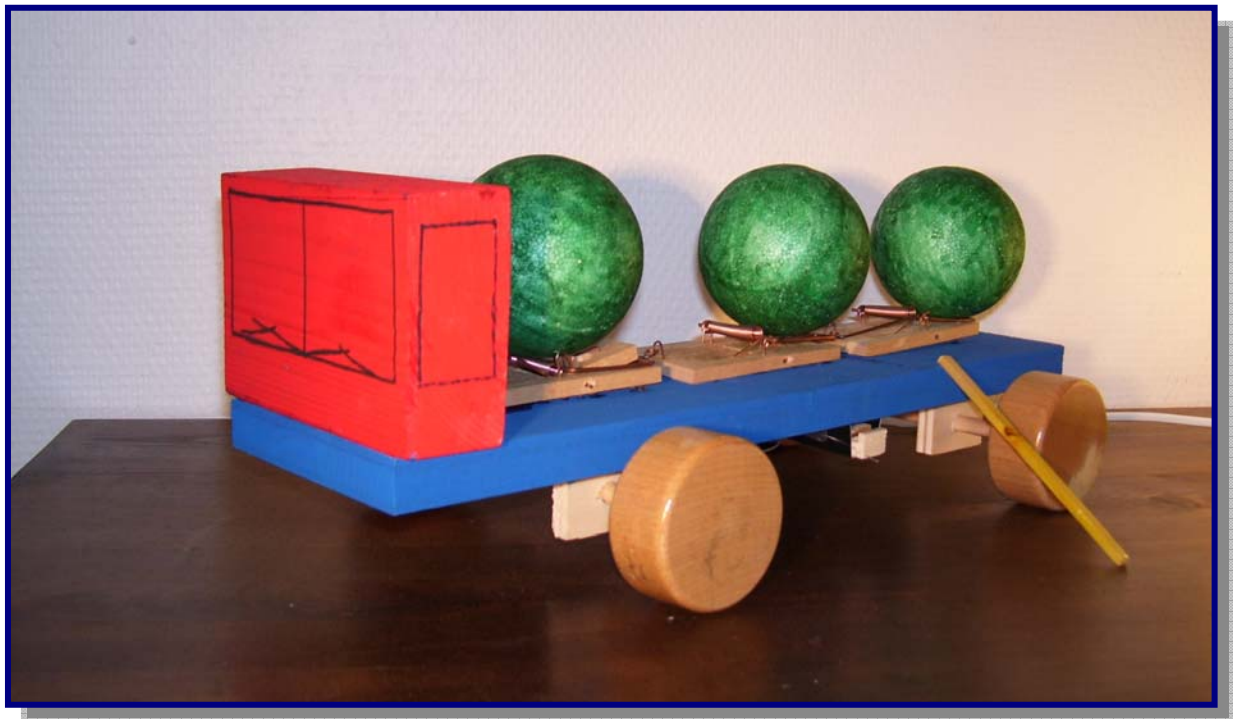


Foto: privat

Vorgelegt von:

Sonja Luik  
Johanna Mutschler  
Ines Schlagenhauff  
Tanja Wutzer

Lehrbeauftragter:

Herr Lohmüller  
24 C

Kurs:

## Sachanalyse

Das ATP/ADP/AMP- System ist das universelle Energievermittlungssystem der Zelle. In der Mittelstufe werden Energiekopplungsprozesse in der Regel als ATP-Abbau am Beispiel der Muskelarbeit besprochen. Das vorliegende Modell eignet sich besonders zur Veranschaulichung der Energieumwandlung im Rahmen des projektorientierten Unterrichts in Klasse 10.

### **Bau und Funktion der Muskeln**

Die Skelettmuskeln ermöglichen uns die Bewegung. Sie können erstaunliche Leistungen vollbringen, wie Rekorde von Langstreckenläufern zeigen.

Es gibt etwa 400 Skelettmuskeln. Zusammen machen sie ca. die Hälfte unseres Körpergewichtes aus.

Jeder einzelne Skelettmuskel besteht aus **Bündeln** von **Muskelfasern**, die wiederum aus **Muskelzellen** aufgebaut sind.

Betrachtet man die Skelettmuskulatur unter dem Mikroskop, so kann man eine Querstreifung erkennen → quergestreifte Muskulatur.

Die Muskelzellen bestehen ihrerseits aus **Muskelfibrillen**. Sie können sich zusammenziehen und bilden die kontraktile Elemente des Muskels.

Diese **Myofibrillen** bestehen aus hintereinander angeordneten kontraktile Elementen, den **Sarkomeren**. (Ein Sarkomer ist ca.  $2.5\mu\text{m}$  lang, in einer Myofibrille können 20000 davon hintereinander liegen.)

Ein Sarkomer besteht aus 2 Arten von Proteinfilamenten:

Dicke Filamente: Myosinfilamente

Dünne Filamente: Aktinfilamente

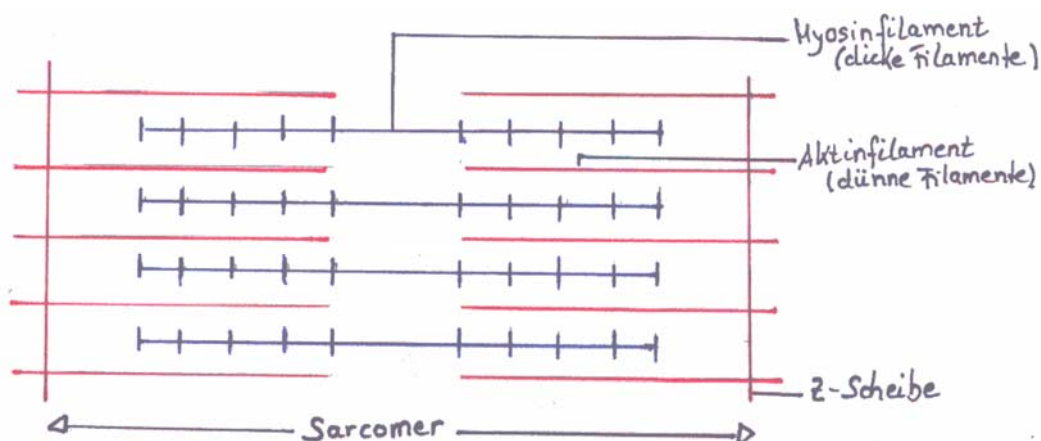


Abb.1

### **Muskelkontraktion**

Wenn sich eine Myofibrille eines Skelettmuskels um etwa 20% verkürzt, beruht das darauf, dass jedes der 20000 Sarkomere sich von  $2.5\mu\text{m}$  auf  $2\mu\text{m}$  zusammenzieht. Bei der Verkürzung gleiten die Myosinfilamente zwischen die Aktinfilamente.

Für die Kontraktion wird Energie benötigt. Diese Energie stammt aus dem ATP-Molekül, das dabei zu ADP+P hydrolysiert.

Der ATP-Spiegel bleibt trotz Verbrauch relativ konstant im Muskel. Während der Muskelarbeit muss aus einem Reservoir ständig, relativ schnell ATP zur Verfügung gestellt werden. Das geschieht aus dem Vorrat von Creatinphosphat.

Der **Laster** stellt die Energiequelle dar, um den Muskel zu bewegen. Der Laster selbst, als Blackbox, ist das ADP Molekül.

Unter Energieverbrauch wird der Laster zunächst „beladen“.

Das ADP-Molekül, ein Nucleotid. Es besteht aus Adenin, eine der vier organischen Basen der Desoxyribonukleinsäure (= Fahrerhäuschen- rot angemalt) + einer Ribose (= Ladefläche- blau angemalt) + 2 Phosphatresten (= Styroporkugeln- grün angemalt)

ATP:

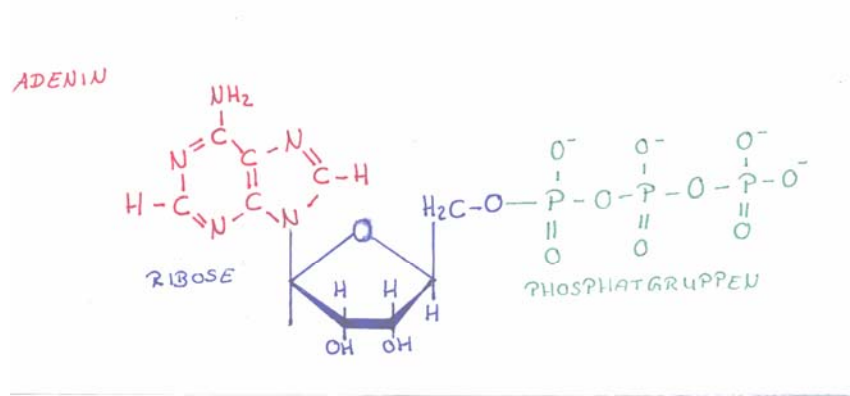


Abb.2

Der Laster ist mit 2 Styroporkugeln auf Mausefallen beladen und wird jetzt mit dem 3. Phosphatrest (der 3. Styroporkugel), beladen. Aus ADP wird energiereiches ATP.

Der Umbau von ADP zu ATP ist ein energieverbrauchender Prozess. (Das mühsame Spannen von Mausefalle 3 und das Auflegen der Styroporkugel symbolisiert den Energieaufwand beim Aufbau des ATP-Moleküls.

Das energiereiche Adenosintriphosphatmolekül ist nun in der Lage Energie, z.B. für die Muskelarbeit zur Verfügung zu stellen. Um die Energiefreisetzung zu demonstrieren, wird Mausefalle 3 mittels einem Stab, der das spaltende Enzym darstellt (= gelb angemalt), ausgelöst.

Für Schülerinnen und Schüler wird im Modell einprägsam:

Kinetische Energie wird frei, wenn unter lautem Klatschen die Falle zuschnappt und eine Styroporkugel durch den Raum fliegt. Diese freigewordene Energie wird zur Kontraktion der Muskeln benutzt, um das Myosinfilament am Aktinfilament weiter zuschieben. Das Sarkomer verkürzt sich.

Genauer wird die Energie dazu genutzt, um das Myosinköpfchen vom Aktinfilament wieder zu lösen. Für diesen Vorgang wird energiereiches ATP zu ADP +P abgebaut.

ADP +P muss dann in der Zelle wieder zu ATP aufgebaut werden.

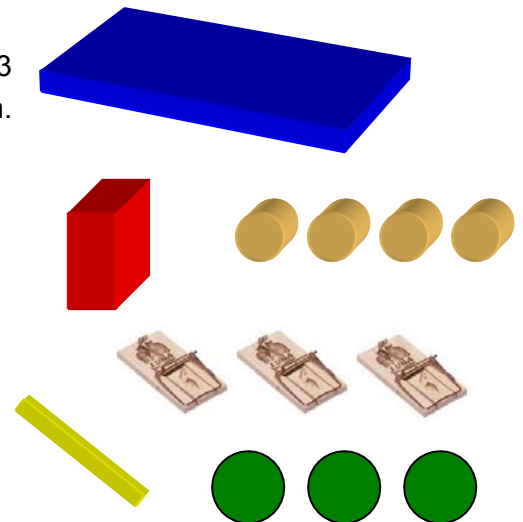
**Die ATP-Bildung und der Abbau bei der Muskelarbeit finden in einem Zyklus statt, der in 4 Stufen beschrieben werden kann:**

1. Das Köpfchen eines Myosinmoleküls nähert sich einem benachbarten Aktinmolekül. Es hat ADP+ P aus einer vorhergehenden ATP-Spaltung gebunden.  
→ Das Myosinköpfchen bindet sich an Aktin → ADP+P lösen sich
2. Das Köpfchen klappt um, es bewirkt dadurch eine winzige Verschiebung zwischen Myosin- und Aktinfilament.
3. Anschließend wird von der Muskelzelle zur Verfügung gestelltes ATP gebunden → Myosinköpfchen löst sich vom Aktin ab.
4. ATP wird durch das Enzym zu ADP +P gespalten→ Energie wird frei → Das Myosinköpfchen kehrt in die Ausgangslage zurück.

Der Zyklus läuft bei einer schnellen Muskelbewegung etwa 5 mal pro Sekunde ab!

**Material**

- 1 Holzbrett (ca. 10x40cm, Länge so wählen, dass 3 Mausefallen hinter dem Führerhaus Platz haben. Stärke 1-2 cm)
- 1 Holzklotz: 10x7x12
- 4 Holzscheiben, ø ca. 6 cm
- 1 Holzkeil: Länge ca. 4 cm
- 3 Mausefallen
- 3 Styroporkugeln (notfalls Tischtennisbälle)
- Zahnbürste oder Holzstab
- Farben, Permanent Marker
- Nylonfaden



**Bauanleitung**

Abb.: privat

Der Holzklotz soll so bearbeitet werden, dass er wie ein Führerhaus aussieht. Anschließend wird er mit Leim oder Nägeln auf dem Holzbrett angebracht.

Alle Elemente werden wie in den Abbildungen farbig anstreichen.

Die drei Mausefallen werden hinter dem Führerhäuschen aufgereiht und so befestigt, dass sie nach hinten auslösen.

Bei der ersten Mausefalle wird die Feder ausgehängt und eine Styroporkugel bzw. ein Tischtennisball mit viel Leim aufgeklebt.

Anschließend muss man die Räder starr an dem Holzbrett befestigen und den Holzkeil mit dem Faden und einem Nagel so am Brett befestigen, dass er unter den Auslösehebel der zweiten Mausefalle geschoben werden kann.

Verwendet man zum Auslösen der Fallen eine Zahnbürste, so muss man zunächst die Borsten entfernen. Der Stiel der Zahnbürste bzw. der Holzstab wird als Griff zum Auslösen der Mausefallen verwenden!

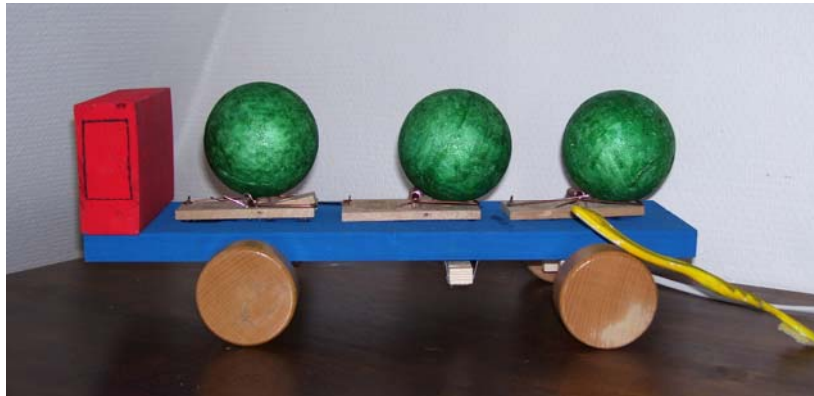


Foto: privat

## **Durchführung**

Bei der Durchführung des Modellversuchs sollte man berücksichtigen, dass die Kugeln nach Auslösen der Falle ziemlich weit durch den Raum fliegen. Gegenstände, die herunterfallen könnten, sollten daher vorab entfernt werden. Auch bei der Wahl des Kugelmateri als sollte dies berücksichtigt werden. Es empfiehlt sich ein leichtes Material - Styroporkugeln sind am besten geeignet.

Die Versuchsdurchführung beginnt, indem der Lehrer die zweite und dritte Mausefalle spannt. Das mühsame Spannen der Fallen soll den Energieaufwand beim Aufbau des ADP-Moleküls symbolisieren. Wenn alle Mausefallen gespannt sind, werden die Styroporkugeln auf die Fallen gelegt. Dabei muss man darauf achten, dass die Fallen nicht durch die Kugeln ausgelöst werden. Es empfiehlt sich daher zunächst einen kleinen Keil unter die Fallen zu schieben, der später wieder entfernt wird. Unter der zweiten Mausefalle sollte man den Keil jedoch zunächst liegen lassen.

Mit Hilfe der Zahnbürste, die das Enzym symbolisiert, wird nun die dritte Mausefalle ausgelöst. Die Falle schnappt dabei laut zu und die Styroporkugel fliegt durch den Raum. Der Keil unter der zweiten Mausefalle verhindert, dass diese ebenfalls ausgelöst wird.

Man sollte das Modell mindestens zweimal in der Klasse vorführen. Wichtig ist, dass vorab geklärt wird, was die Teile des ATP-Lastwagens symbolisieren.

## **Modellkritik**

Das Modell berücksichtigt nicht, dass die Bildung von ATP und dessen Abbau nicht an derselben Stelle stattfinden.

Zudem wird die im Versuch freigesetzte Bewegungsenergie im Organismus für weitere Stoffwechselvorgänge verwendet.

Das Modell stellt zwar einen sehr komplexen Sachverhalt anschaulich dar, muss jedoch im Unterricht intensiv besprochen werden.

## **Literaturverzeichnis**

- Keller, Hartmut: Der „ATP-Lastwagen“ – ein Modell zur Energieumwandlung. In: Unterricht Biologie, 227/26.Jg., Sept. 2002, S.50
- Scharf, Karl-Heinz/ Weber, Wilhelm (1999): Stoffwechselphysiologie. Schrödelverlag. Hannover, S.140-142