

Habt ihr schon gewusst ... Standfestigkeit

von Prof. Franz Kranzinger - Staatliches Seminar für Didaktik Stuttgart

Bildnachweis: Alle Bilder sind von Franz Kranzinger oder Ingeborg Nagl-Kranzinger



(c) franz kranzinger

Standfestigkeit ist sicher kein Pflichtthema in den Naturphänomenen ... macht den Schülerinnen und Schülern, wenn man es motivierend aufzieht, viel Freude...

z.B. könnte man nach der Einführung des Schwerpunktes eines Körpers ... selbstverständlich anschaulich ... spielerisch ... handlungsorientiert ... könnte man die Frage stellen:

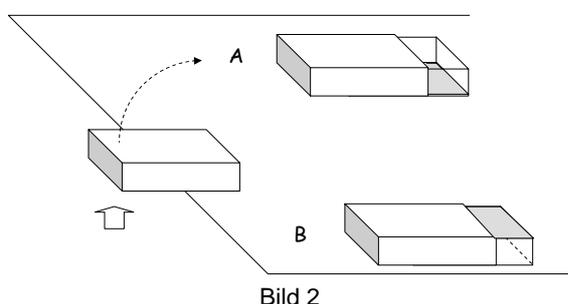
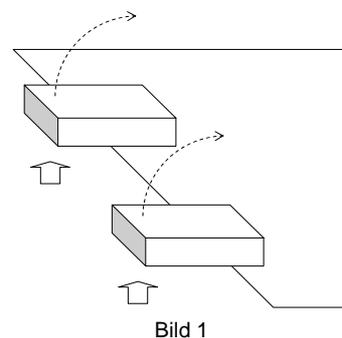
- ***„Was kann man über den Schwerpunkt des Raben im Bryce-Canyon, USA sagen?“***
- ***„Was kann man über den Schwerpunkt des Balanced Rock im Archer Nationalpark – USA sagen?“***

... wenn Sie interessiert daran sind, wie ich die Standfestigkeit einführe → siehe nächste Seiten

Schwerpunkt & Standfestigkeit

Motivationsphase

Streichholzschachtelspiel: Man legt zwei leere Streichholzschachteln nebeneinander an den Tischrand und fordert eine Schülerin bzw. einen Schüler auf, genau nachzumachen, was man ihm vorführt. Der Lehrer versucht nun mit einem Finger von unten die Streichholzschachtel langsam in die senkrechte Lage zu stellen (siehe Bild 1). Der Lehrkraft gelingt dies – der Schüler versagt regelmäßig, denn seine Schachtel kippt über die senkrechte Lage hinaus um. Nur extrem selten gelingt den Schülerinnen und Schülern das Aufstellen der Streichholzschachtel, während die Physiklehrkraft immer erfolgreich ist. Auch wenn die Schachteln oder der Aufstellungsort vertauscht werden - der Schüler versagt, die Lehrkraft hat Erfolg, wenn sie den kleinen Unterschied zwischen der „Schülerschachtel“ und der „Lehrerschachtel“ „einige Zeit“ durch „Drum-Herum-Rede“ (Talent eines Zauberkünstlers!) verschleiern kann.



Das Aufrichten der Streichholzschachtel gelingt nur dann (siehe Bild 2), wenn die „Schachtel“ mit dem Boden nach unten in der Hülle steckt (Position A in Bild 2). Dreht man die „Schachtel“ um, wenn der Boden der Schachtel oben liegt (Position B in Bild 2), dann kippt die Schachtel nach vorne um, wenn sie mit einem Finger in die senkrechte Lage gebracht wird.

Nach der „Auflösung“ dieses Tricks sind die Schülerinnen und Schüler verblüfft, dass solch ein kleiner Unterschied sich so stark auswirkt.

Es folgt nun aber keine Erklärung des Phänomens, sondern die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, während der kommenden Unterrichtsschritte an diesen „Schachteltrick“ zu denken und wenn sie auf dem nun folgenden Lern-Weg meinen, sie könnten erklären, WARUM der Trick mit der Schachtel so funktioniert, wie sie ihn erlebt haben, dann sollen sie ihre Erklärung formulieren und dem Lehrer geben.

Didaktischer Hinweis:

Dieser Einstieg lebt vom Alltagsbezug. Eine Streichholzschachtel ist ein Alltagsgegenstand und alle Manipulationen, die hier gezeigt werden, können die Schülerinnen und Schüler zu Hause vollständig nachvollziehen. Das kleine Experiment wirkt verblüffend schon bei der Demonstration überaus motivierend. Zudem sind die Kinder motiviert, diesen Trick Familienangehörigen und Freunde vorzuführen und diskutieren mit ihren Eltern und Geschwistern den physikalischen Hintergrund.

Unterschiedlich begabte Kinder liefern die Erklärung des Streichholz-Motivationsexperiments zu ganz unterschiedlichen Zeiten. Nicht selten beginnen die „Schnellsten“ schon mit einer korrekten Formulierung direkt nach der Vorführung - bis hin zu einigen wenigen, die den Transfer der Standfestigkeit auf das Streichholzexperiment auch nach Abschluss der Unterrichtseinheit nur mit Lehrerhilfe schaffen.

Schwerpunkt

Einführung

An einem Dreieck werden – wenn noch nicht bekannt - die Seitenhalbierenden definiert. Anschließend werden sie mit abwaschbarem Folienschreiber auf den Geodreiecken konstruiert. Sie schneiden sich im so genannten „Schwerpunkt“ des Dreiecks.

Das Besondere dieses Punktes: Wenn man das Geodreieck in seinem Schwerpunkt mit einem Finger unterstützt, kann man es im Gleichgewicht halten. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, dieses Phänomen in eigenen Worten zu beschreiben. Hierbei entstehen Formulierungen der Art: „... der Schwerpunkt ist das Gewichtszentrum ...“ oder „...wenn man ihn da unterstützt, bleibt er im Gleichgewicht...“ oder „... der Schwerpunkt ist die Mitte des Geodreiecks ...“ Diese Formulierungen sind ein erster Schritt in Richtung einer exakten Fachsprache!

Didaktischer Hinweis:

Die Definition des Schwerpunkts erfolgt nicht selten im Mathematikunterricht als Schnittpunkt der „Schwerelinien“ oder der „Seitenhalbierenden“. Bei dieser Zugangsweise wird die mathematische Konstruktion eventuell nicht hinreichend genug „intuitiv“ verankert. Wichtig in diesem Zusammenhang ist nicht die „schulbuchmäßig gedrehselt, auswendig gelernte Schwerpunktdefinition“, sondern die Festigung der Vorstellung bzgl. der Körperschwerpunkte.

Ess-Experiment

Vor dem Unterricht waschen sich alle Schülerinnen und Schüler ihre Hände sorgfältig mit Seife und trocknen sie mit Papierhandtüchern ab. Alle Schülerinnen und Schüler holen sich vom Lehrertisch einen gespülten Teller und aus einer Tüte eine runde Reiswaffel (siehe Bild 3).

Sie werden aufgefordert, die Reiswaffel senkrecht auf den Teller zu stellen und zu beobachten, was die Reiswaffel macht. Sie sollen eine Vermutung äußern, wo sich der Schwerpunkt der Reiswaffel befindet.

In einem zweiten Schritt dürfen sie Teile der Reiswaffel abbrechen (oder abbeißen - daher das strenge Vorgehen bzgl. der Hygiene ... vorher Händewaschen! und sauberer gespülter Teller!). Sie sollen jedes Gebilde, das sie erzeugen, abzeichnen und eine Vermutung äußern, an welcher Stelle sich wohl der Schwerpunkt nach der „Bearbeitung“ befindet?

Nach der Vorhersage kommt das Experiment, in dem die Vorhersage überprüft wird: Sie stellen die „bearbeitete“ Reiswaffel wieder senkrecht auf den Teller und halten in einer Zeichnung fest, in welche Lage sich die „Rest-Reiswaffel“ bewegt. In der Zeichnung werden der vermutete Schwerpunkt sowie der Auflagepunkt in der Zeichnung markiert.

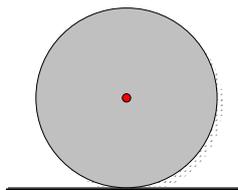


Bild 3

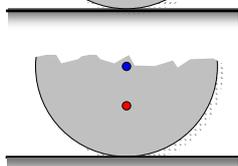
Didaktischer Hinweis:

Ein wesentlicher Aspekt bei diesem Schritt ist das „Erleben“ der Veränderung des Schwerpunkts durch „Essen“. Das Zusammenspiel der sinnlichen Wahrnehmung und der Beobachtung ist hierbei wesentlich.

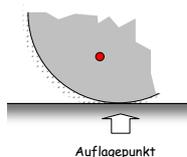
Einige typische Beispiele und zugehörige Antworten:



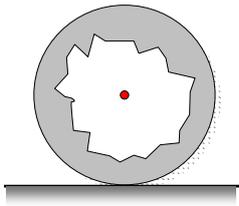
Alle gehen davon aus, dass der Schwerpunkt einer vollständigen Waffel in der Mitte liegt.



Alle nehmen an, dass sich der Schwerpunkt beim Halbieren einer Waffel „nach unten verändert“ (blaue Variante); die Mehrzahl zeichnet den Schwerpunkt „intuitiv richtig“ (rote Variante).



In den meisten Fällen wird der Schwerpunkt in der „Mitte“ des Restgebildes gezeichnet. Es wird erkannt, dass sich die Reiswaffel so dreht, dass der Schwerpunkt über dem Auflagepunkt liegt. Lenkt man die Reiswaffel aus dieser stabilen Lage aus, so dreht sie sich wieder so, dass der Schwerpunkt über dem Auflagepunkt zu liegen kommt. Schülerkommentar: „... dann liegt er möglichst tief ...“



In einigen Fällen wird die Waffel vorsichtig von der Mitte her ausgehöhlt. Der Schwerpunkt wird wieder in der Mitte vermutet. Erstaunt stellen die Schüler fest, dass die Reiswaffel – im Gegensatz zur vollständigen Reiswaffel – nicht in jeder Lage „stabil“ stehen bleibt, wenn man sie auf den Teller stellt. Schülererklärung: Wenn der *Schwerpunkt durch das Abbeißen nicht mehr genau in der Mitte liegt, dreht sich die Reiswaffel so, dass der Schwerpunkt möglichst tief liegt...* „... „... die Reiswaffel dreht sich immer so, dass der Schwerpunkt über der Auflage liegt ...“

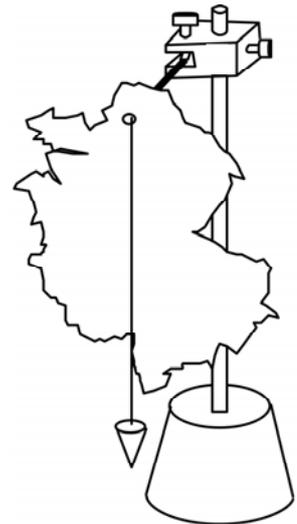
Eine Schülerfrage wird heftig diskutiert: *Kann denn der Schwerpunkt an einer Stelle liegen, an der überhaupt nichts mehr ist? Das geht doch nicht, wenn der Schwerpunkt der Punkt sein soll, an dem man ihn „stabil unterstützen“ kann. Da wo nichts ist, kann man doch auch nicht unterstützen.“*

Vorhandene Randbedingungen (u.a. Klassenstufe und zur Verfügung stehendes Zeitfenster) entscheiden darüber, ob man an dieser Stelle „stabile, labile und indifferente“ **Gleichgewichtslagen** intensiver diskutieren will.

Konstruktion

Die Schwerpunkte von Dreiecken und von Kreisscheiben können die Schülerinnen und Schülern bestimmen. Bei „irregulären Körpern“ haben sie ein Gefühl, wo er liegen kann. Bei dem Sonderfall der Waffel konnte man schon „festmachen“, auf welcher Geraden der Schwerpunkt liegen muss.

Nun lernen die Schülerinnen und Schüler ein Verfahren kennen, mit dem man den Schwerpunkt eines mehr oder weniger „beliebigen Papp-Körpers“ bestimmen kann. Die Schülerinnen und Schüler schneiden aus einer starken Pappe verschiedene Körper aus. Wenn man die Körper an unterschiedlichen Stellen drehbar aufhängt (Stecknadel, Korkwand), dann dreht sich der Körper so, dass der Schwerpunkt so tief wie möglich liegt. Das Lot¹ bzgl. eines Aufhängepunktes legt einen „geometrischen Ort“ für den Schwerpunkt fest. Durch zwei Messungen bekommt man die exakte Lage.²



Standfestigkeit

Standexperiment

Die Physiklehrkraft stellt sich für alle Schülerinnen und Schüler sichtbar in die Mitte des Raumes. Alle meinen, dass der Schwerpunkt des Lehrers in etwa im Bereich des Baunabels liegt. Dieser Punkt wird mit einer kleinen Kreisscheibe markiert. Dann befestigt der Lehrer ein Lot „im Schwerpunkt“ – also „im Bauchnabel“. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, genau zu beobachten, was passiert, wenn die Physiklehrkraft ihre Masse von „zwei Füßen“ auf „einen Fuß“ verlagert.

Nach eigenen Versuchen kommen die ersten Vermutungen: „... man kann nur dann stehen, wenn der Schwerpunkt über den Füßen liegt ...“ oder „... das Lot muss zwischen die Füßen zeigen“. Eventuell sollte an dieser Stelle der Begriff der Standfläche eingeführt werden.

Umfall-Experiment

Die Schülerinnen und Schüler werden nun aufgefordert, dieses Experiment zu wiederholen - allerdings sollen sie sich mit einer Körperseite – z.B. mit der rechten Körperseite ganz eng an eine Wand stellen und versuchen, den linken Fuß anzuheben ... also die „Körpermasse“ auf den rechten Fuß zu verlagern. Es folgt eine Diskussion, warum das nicht möglich ist. Kommen unterschiedliche Vorschläge, werden sie gesammelt und auf Plakate an der Zimmerwand notiert.

¹ Der Begriff des „Lots“ war intuitiv bekannt. Die Beschreibung in der Art: „ein Körper, der an einem Faden hängt und „senkrecht“ zum horizontalen Fußboden zeigt“. Diskussion entsteht eventuell bzgl. des Begriffs „horizontalen Ebene“. Die Funktionsweise einer Wasserwaage ist fast bei allen Schülerinnen und Schülern bekannt. Dass das Lot zum Mittelpunkt unseres Planeten zeigt, ist für viele Schülerinnen und Schüler eine faszinierende – eventuell sehr abstrakte Vorstellung.

² Ein Vorschlag – vermutlich von einem Elternteil – wurde als freiwillige Hausaufgabe gegeben: Die Schülerinnen und Schüler bekamen eine Kopie der Landkarte von Deutschland. Sie klebten diese Kopie auf einen Karton, schnitten die Umrisse von Deutschland aus und bestimmten den „Schwerpunkt von Deutschland“.

Didaktischer Hinweis:

Wie wesentlich für eine nachhaltige Erkenntnis das eigene Erleben ist, kann man bei diesem Experiment feststellen. Verblüfft wiederholen die Schülerinnen und Schüler das Experiment.

Apparat zur Standfestigkeit (z.B. 200.2056)

In der Physiksammlung findet man einen Apparat, dessen Form man so manipulieren kann, dass das Schwerpunktlot über oder seitlich von der Standfläche verläuft (siehe Bild 3). Nach den bisherigen Vorarbeiten folgt eine „Formulierung der Standfestigkeit“: Wann steht ein Körper und wann fällt er um?

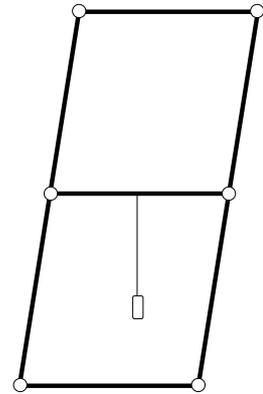


Bild 4

Balancieren

In einem weiteren Schritt, wird die Problematik des „Balancierens“ mit den Schülerinnen und Schüler diskutiert.

Schülerantworten: „ ... einen Bleistift kann ich nicht balancieren, denn er fällt zu schnell um ... ich bin zu langsam, um den Schwerpunkt über meinem Finger zu halten ... eine Stativstange fällt viel langsamer um, da reagiere ich schnell genug ... ich bin zu langsam, um meine Finger unter den Schwerpunkt zu bekommen ...“

Man könnte hier das „**Trägheitsmoment**“ (qualitativ!) diskutieren ... also man könnte durch geeignet „Balance-Körper“ zeigen, dass nicht die „Masse“ an sich, sondern vor allem auch die Verteilung der Masse im Bezug auf den Drehpunkt (hier Unterstützungspunkt) eine wesentliche Rolle spielt. So z.B. besteht ein großer Unterschied, ob man einen Hammer mit Stiel nach oben oder unten balancieren will.

Münzexperiment als Lernzielkontrolle

Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, eine Münze auf einen der Länge nach gefalteten Geld-Schein zu legen → siehe Bild 5a.

Die Schülerinnen und Schüler sollen formulieren, warum das nur extrem schwer – oder gar nicht – geht!



Bild 5a ³

Dann faltet die Lehrkraft den Geld-Schein der Breite nach, stellt den Schein mit einem 90°-Winkel auf den Tisch und kann nun ohne weiteres die Münze auf die Kante legen.

Die Schülerinnen und Schüler sind im Regelfall über diesen „Trick“ enttäuscht.

Man fordert sie auf, mit dem bisherigen Wissen über Standfestigkeit zu formulieren, warum dieser „Trick“ erfolgreich ist.



Bild 5b

Erst dann nimmt man die beiden Schenkel des 90° abgewinkelten Geldscheins und streckt den Schein ganz vorsichtig! Geschieht das hinreichend langsam und lag der Schwerpunkt der Münze schon nahe an der Kante, dann gelingt die vollständige Streckung des Geldscheins, ohne dass die Münze herunter fällt. Man kann den gestreckten Geldschein mit der Münze vorsichtig in die Höhe halten.



Bild 5c

³ Aus Nostalgie habe ich für dieses Experiment einen „alten Geldschein“ verwendet. Selbstverständlich kann man das Experiment auch mit „EURO-Münzen“ und „EURO-Scheinen“ in gleicher Weise durchführen.

Didaktischer Hinweis

So komplex dieses Experiment zunächst anmutet, so motivierend wirkt es. Die Stimmungsschwankung der Schülerinnen und Schüler wechselt ständig:

„... es ist doch klar, dass das nicht geht ... haben wir doch gerade gelernt ...“

Nicht wenige in der Klasse fühlten sich bei dieser Aufgabenstellung „unter ihrer Würde unterfordert“ ... Als dann der Geldschein in der Mitte gefaltet wird (siehe Bild 5b) sind die Kinder „maßlos enttäuscht“ über diesen billigen Trick des Lehrers ...

„... da wäre ich auch draufgekommen ...“ ... „...ich wusste doch gleich, dass Sie uns hereinlegen...“
Diese Stelle ist eine wunderschöne Lernzielkontrolle ... auch wenn sich unterschiedliche Begabungen unterschiedlich schwer tun, eine „Standfläche“ zu beschreiben, die an einer Seite durch keinen „realen Rand“ begrenzt ist.

Wenn man dann die dritte Phase des „Tricks“ präsentiert, gewinnt man mit der Verblüffung der Schülerinnen und Schüler die „Herzen der Kinder für die Physik“

„ ... das ist geil...“ oder „ ... woo, das kann doch nicht wahr sein ...“ oder „ ... welchen Trick machen Sie jetzt wieder ...“

Ungläubig machen die Schülerinnen und Schüler den Trick nach und staunen über sich selbst, wenn die Münze auf der Geld-Scheinkante liegt, man den Geldschein mit der Münze vom Tisch abheben und damit durch das Zimmer laufen kann. Am Elternabend erfahre ich, dass fast alle Kinder dieses Experiment zu Hause vorgeführt haben!

Besen-Experiment

Bevor man dieses Experiment „erklärt“, zeigt man das Besen-Experiment, bei dem man einen Besen in die ausgestreckten beiden Hände legt und die beiden Hände aufeinander zu bewegt. Der Besen fällt nicht herunter. Wenn die Hände zusammengeführt sind, liegt der Schwerpunkt des Besens zwischen den beiden Händen.

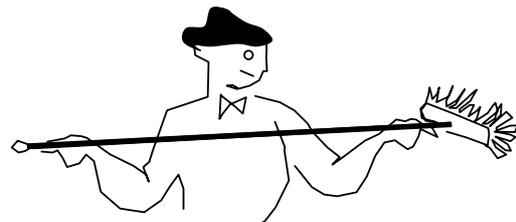


Bild 6

Bei der Ausführung des Besenexperiments erleben die Schülerinnen und Schüler intuitiv den Begriff des **Drehmoments**. Wenn der Schwerpunkt des Besens aus der Mitte „herausrückt“ – z.B. nach links –, dann spürt man, dass in diesem Fall die rechte Seite „weniger stark belastet“ ist und der Besen an der rechten Hand zu rutschen beginnt, bis der Schwerpunkt über Mitte hinaus auf die rechte Seite gewandert ist – jetzt ist die linke Seite entlastet und der Besen rutscht auf der linken Seite ... usw.

Die vorhandenen Randbedingungen (u.a. Alterstufe und vor allem das vorliegende Zeitfenster) bestimmen darüber, ob man auf den Begriff des Drehmoments und auf **Haft-** bzw. **Gleitreibungskräfte** an dieser Stelle explizit und ausführlich eingehen will.

Nach dem „Besenexperiment“ kann man die Erklärung des „Münzexperiment“ als Hausarbeit stellen und zufrieden stellende Antworten erwarten.

Didaktischer Hinweis:

Ein Kind in der Klasse war mit der „Besenerklärung“ nicht ganz zufrieden. Dass der Schwerpunkt – entsprechend der „Besenerklärung“ in die Nähe der Geldscheinkante rückt, wurde akzeptiert. Dass er aber so stabil auf der Kante liegen bleibt, dass man mit der Anordnung durch das Zimmer marschieren kann, war dann doch noch erklärungsbedürftig. Die von der Schülerin selbst gefundene Lösung war beeindruckend: Sie wiederholte das Experiment mit normalem Papier und stellt nach Versuchen mit unterschiedlichen Papiersorten fest, dass das Papier, aus dem der Geldschein gemacht ist, eine besondere Eigenschaft hat: Beim „scharfen Falten“ des Geldscheinens entsteht ein Knick in der Geldscheinmitte, der auch bei einem „gespannten Geldschein“ nicht vollständig „glatt gezogen“ wird. Auf diese Weise entsteht für den Münzenschwerpunkt eine „passable Standfläche“. Besonders stabil gelingt dieses Experiment, wenn man den Geldschein nämlich nicht ganz straff zieht!

Auflösung des Streichholzschachtel-Eingangs-Experiments

Im Laufe dieses Unterrichtsganges wird klar – eventuell mit Unterstützung der Lehrkraft –, warum das Eingangs-Schachtelexperiment nur gelingen kann, wenn der Boden der Schachtel vor dem Aufrichten „unten“ liegt.

Präsentationsphase

Die Teams sollen zum Abschluss dieser Unterrichtseinheit die im Unterricht erlebten wesentlichen Schritte als Lernstraße am Tag der offenen Türe für die Grundschul Kinder aufbereiten und die Stationen dieser Lernstraße betreuen.

Interessant hierbei ist vor allem die „Umsortierung“ der Themen in der Reihenfolge der Darbietungen:

1. Schwerpunkt-Station: Schwerpunkt eines Dreiecks, einer Scheibe, ... Erklärung, was man unter einem Schwerpunkt versteht und wie man ihn bei einem irregulären Körper mit dem „Schwerpunkt-Lot“ findet.
2. Standfestigkeits-Station: Erklärung, wann ein Körper stabil steht. Demonstration mit dem „Standfestigkeits-Demonstrationskörper“ aus der Sammlung
3. Balancier-Station: Experimente zum Balancieren eines Bleistiftes und einer 2m langen Stativstange mit Eisenklotz am Ende, passende Erklärungen ...
4. Umfallstation: Experiment zum Umfallen, wenn man mit einer Seite an der Wand steht.
5. Streichholz-Experiment: Vorführung und passende Erklärung
6. Geldscheinexperiment: Vorführung und passende Erklärung

Didaktischer Hinweis:

In den Wochen und Monaten nach dieser Unterrichtseinheit kommen wir immer wieder in Gesprächen auf diese Thematik zurück ... so z.B. „sammeln sich folgende Fragen an“:

- Wie kommt der Schwerpunkt eines Hauses bei einem Erdbeben außerhalb der Standfläche, wenn es umfällt? In diesem Zusammenhang kam die Frage auf: Was hält eigentlich ein Haus „zusammen“? Welche „Erdbebenvorsorge“ treffen die Japaner, bei denen die Häuser selbst ein Erdbeben der Stärke 7,8 aushalten? Wie kann man die Hochhäuser in Tokio so bauen, dass sie bei einem Erdbeben nicht umfallen?
- Bei einem Raketenantrieb hat man ja im Prinzip auch ein Balancierproblem und wie löst man das Standfestigkeitsproblem? Bei einer Silvesterrakete löst man das Steuerungsproblem durch einen langen Holzstab an der Rakete. Aber warum löst dieser Holzstab eigentlich das Problem. Was passiert, wenn man ihn kürzt oder weglässt, steigt die Rakete dann nicht viel höher?
- Wann kippt ein Auto in der Kurve um? Wie passt das zu der behandelten Standfestigkeit?
- Worin unterscheidet sich das Gehen vom Laufen? In Biologie lernen wir, dass ein Mensch, der läuft, eigentlich ständig umfallen müsste.