

# Habt ihr schon gewusst - 337 Maus auf Abwege

**Bezugssysteme** sind für manche der Schülerinnen und Schüler aus der SI ein kleines Problem. Bezugssystemwechsel beginnt schon bei der zwingenden Definition des Nullniveaus der Geschwindigkeit, des Impulses und der kinetischen Energie. Eine ganz wesentliche Hilfe ist hierbei die Diskussion dieses Nullniveaus (also des Bezugssystems) schon im Anfangsunterricht bei der Einführung der Geschwindigkeit ... selbstverständlich auf einem der Klassenstufe angemessenen Niveau!

Dass wir **Kräfte** nur erfinden, um in einem Bezugssystem Vorhersagen machen zu können, die wir in einem Experiment überprüfen können, ist ein weiteres Problem. Kräfte sind – das wissen wir als Physiklehrkräfte – eines der ganz heiklen und schwer verständlichen Themenbereiche der Physik. Das Durcheinander zwischen Kräftegleichgewicht in einem Angriffspunkt und Actio-Reactio auf zwei verschiedene Körper in den Schülerheften ist uns wohl bekannt. Die Diskussion von inneren und äußeren Kräften führt nicht selten zu einer Überforderung.

Die Diskussion von Kräften bei **typischen Schulbeispielen** – z.B. warum kann ein Pferd einen Wagen ziehen, wenn doch die Actio des Pferdes auf den Wagen exakt gleich groß ist, wie die Reactio des Wagens auf das Pferde ... z.B. warum kann eine Mannschaft beim Seilziehen überhaupt gewinnen, wenn doch Actio der einen Mannschaft immer exakt gleich groß ist wie die Reactio der anderen Mannschaft, wenn also beide Mannschaften immer nur mit exakt der gleichen Kraft am Seil ziehen können ... z.B. wie beschreibt man den Schwebeflug eines Hubschraubers ... usw. – zeigt die vorhandene Problematik deutlich auf. Wenn man den Mechanik-Unterricht in Klasse 7 mit dem Impuls beginnt (aufbauend auf dem Präkonzept Schwung), dann die Impulserhaltung diskutiert und über das abgebremste Auto auf der Autobahn (sanfte Bremsung, zügige Bremsung, Vollbremsung, Auffahrunfall) den Zusammenhang Kraft und Impulsänderung einführt (Impulsänderung = Kraft mal Wirkungszeit) UND diesen Zusammenhang zwischen Kraft und Impulsänderung pro Sekunde (also den Impulsstrom) in einer sinnvollen Sprechweise auch auf die oben diskutierten Beispiele anwendet, entsteht – so meine Erfahrung – Physikverständnis ohne eine sinnlose Verwirrung.<sup>1</sup>

Dass wir in einem mitbeschleunigten „lokalen System“ (von INNEN betrachtet) ganz andere Kräfte erfinden müssen als in einem Laborsystem (von AUSSEN betrachtet) ist ein weiteres Problem. ABER nur wenn wir dieses Physikverständnis hinreichend vermitteln – wenn also allen Schülerinnen und Schülern klar wird, dass wir keine Kräfte direkt wahrnehmen, dass Kräfte nur gedankliche Konstruktionen sind – haben sie die Chance das Durcheinander zwischen Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft sinnvoll zu ordnen.<sup>2</sup>

**Differenzierter Unterricht** bedeutet nun, dass man in dieser heiklen Thematik nur sehr behutsam und sanft voranschreiten darf, wenn man seine Schülerinnen und Schüler nicht verlieren will. Dieser behutsame Gang durch die Bezugssysteme (bzw. Kräfte) führt bei begabten Schülerinnen und Schülern, die diesen Zusammenhang relativ schnell durchschauen, eventuell zu Langeweile – der man mit folgender Problemstellung begegnen kann:

## Arbeitsauftrag

Wir haben uns im Unterricht mit Bezugssystemen, Kräften, Impuls und Kreisbewegung befasst. Führen Sie bitte folgendes kleine Experiment durch. Achten Sie dabei aber auf die strikte Einhaltung des Galileischen Weges, den Sie im Unterricht schon häufig geübt haben! Zuerst Formulierung der Vorhersage – und dann erst kommt die Überprüfung im Experiment! Also zuerst DENKEN und dann Experimentieren

Man nehme (a) eine Graphikprogramm auf einem Computer (z.B. Paint von Windows), wähle (b) den Modus „Freihandlinien“ (... auf dem Bildschirm erscheint genau der Weg, den die Maus auf dem Tisch fährt), halte die Maus am Kabel (Kabellänge etwa 30cm) fest und bewege (c) die Maus auf dem Tisch so, dass das Mauskabel immer gespannt bleibt.

**Vorhersage:** Welche Bahn erwarten Sie auf dem Bildschirm?

**Experiment:** Überprüfen Sie Ihre Vorhersage im Experiment!

<sup>1</sup> ... Wesentlich ist hierbei, dass die Schülerinnen und Schüler verstehen, dass ein anfahrendes Auto seinen Impuls aus der Erde holt ... und die kinetische Energie aus dem „Tank“ ... wesentlich ist hierbei, dass der Impuls eines abgebremsten Autos in die Erde geht und die kinetische Energie in die Bremsscheiben ... wesentlich ist hierbei, dass die Schülerinnen und Schüler verstehen, dass beim Anfahren und anschließenden Bremsen des Autos in der Bilanz „impulsmäßig“ nichts passiert ist, der Impuls aus der Erde ist wieder in die Erde zurück geflossen ... ABER dieser Vorgang hat Energie aus dem Benzintank in die Bremsscheiben des Autos transportiert ... im Prinzip also eine „Heizung“ der Bremsscheiben.

Nach dieser Vorarbeit dürfte das ziehende Pferd kein Problem darstellen ... denn das Pferd holt beim „Anziehen des Wagens“ den Impuls aus der Erde ... und da der Wagen auf Rädern steht und damit den Impuls nicht mehr an die Erde abgeben kann, wird der Impuls im Wagen und natürlich auch im Pferd angesammelt ... d.h. der Wagen und das Pferd bewegen sich. Diese Erklärung ist schon in Klasse 7 kein Problem ... eine saubere Diskussion im Kräftebild ist aber selbst in der Kursstufe oder in Uni-Seminaren noch ein große Herausforderung.

Erstaunlich, dass Schülerinnen und Schüler in Klasse 7 in diesem Gedankengang ohne Probleme das Seilziehen klären: Es gewinnt die Mannschaft, die mehr Impuls aus der Erde holen kann ... Eine Mannschaft mit starken Männern und dicken Oberarmen hat keine Chance, wenn sie auf Glatteis steht ... oder auf sandigem Untergrund ...

Für die Erklärung des Schwebeflugs des Hubschraubers geht man in zwei Schritten vor: Man diskutiert den Impuls des Hubschraubers, wenn er frei nach unten fällt ... Der Hubschrauber gewinnt ganz offensichtlich Impuls – dieser Impuls kommt aus der Erde ... (Nahwirkung: über das Erdfeld – Gravitationsfeld der Erde). Wenn der Hubschrauber nun exakt genau soviel Impuls auf die Luft nach unten überträgt, wie er Impuls aus der Erde bekommt, dann nimmt sein Impuls nicht zu, dann bleibt er immer auf dem gleichen Impulsniveau ... dann schwebt er in der Luft. Ein schönes Schülerbeispiel: Wenn man in einen Geldbeutel ständig gleich viel Geld hinein tut, wie man dann wieder heraus nimmt, dann bleibt der Geldwert im Geldbeutel konstant ...

<sup>2</sup> In einem Laborsystem – also von außen betrachtet – muss man eine Zentripetalkraft erfinden – man muss nach der Kraft suchen, die den Körper auf seiner Kreisbahn hält ... also lautet der Standardsatz: Der Faden bringt die Zentripetalkraft auf, damit sich der Körper auf einer Kreisbahn bewegt ... Im mitbeschleunigten Bezugssystem muss man die Zentrifugalkraft erfinden ...

Im Impulsbild stellt man fest, dass der Körper ständig seine Richtung ändert – also eine Impulsänderung erfährt. Diese Impulsänderung bedeutet aber, dass durch den Faden ständig ein Impuls fließen muss!

## Experiment ... ERSTAUNEN

Eine kleine Stichprobe in mehreren Klassen zeigt, alle Schülerinnen und Schüler erwarten auf dem Bildschirm eine Kreisbahn ... eventuell auf den Kopf gestellt ... oder verschoben ... in allen Fällen war die gezeichnete Bahn gekrümmt!

Auf dem Bildschirm erscheint eine Gerade ... also haben wir Handlungsbedarf im Sinne der Galileischen Methode!

---

Global – von außen gesehen – beschreibt die Maus selbstverständlich eine Kreisbahn ... von außen gesehen, bringt die Zugkraft im Mausekabel die Zentripetalkraft auf, um die Maus auf dieser Kreisbahn zu halten.

Lokal – welche Information fließt von der Maus über das Kabel zum Computer?

Wir müssen uns also mit dem „Inneren der Maus“ beschäftigen. Öffnet man die Abdeckung einer „alte mechanische Computermaus“, stellt man fest, dass die Maus-Kugel an der Unterseite im Inneren der Maus auf zwei Räder einwirkt, die vertikal zueinander angeordnet sind. Ein Rad zeigt mit seiner Laufrichtung in Richtung der Mausechse (Längsachse) und ein Rad zeigt mit seiner Laufrichtung senkrecht zur Längsachse (zeigt also in Richtung der Querachse). Wenn man die Maus bewegt, drehen sich die beiden Räder ... die Speichen der Räder unterbrechen jeweils eine Lichtschranke und diese Zählimpulse werden an den Computer geschickt, der aus diesen Zählimpulsen auf die Bewegung der Räder und damit auf die lokale Bewegung der Maus schließen kann und diese dann im Graphikprogramm als Linie darstellt.

Nun stellen wir uns folgende **Fragen**:

- Welche Bewegung führen die Räder nun aus, wenn man die Maus senkrecht zu Ihrer Längsachse bewegt?
- Welche Bewegung führen diese Räder aus, wenn man die Maus in Richtung der Längsachse bewegt?
- Welches Rad dreht sich, wenn man die Maus an ihrem Mausekabel so festhält, dass das Kabel ständig gespannt bleibt?

Und reflektieren unsere Ergebnisse ... die Information von der Maus zum Computer ist eine lokale Information über die Drehung von Rädern von einem lokalen Punkt zu einem anderen ... Diese Information enthält keine Aussagen darüber, wo sich die Maus relativ zu ihrer Umgebung befindet ... diese Information enthält also keine Aussagen über die relative Position der Maus in einem Laborsystem.

Optische Mäuse funktionieren in gleicher Weise ... nur die „Mauskugel“ und die „Räder“ in der mechanischen Maus werden durch eine optische Abtastung des Untergrundes ersetzt ... da aber die Informationsübertragung bzgl. zweier senkrecht aufeinander stehenden Achsen in analoger Weise erfolgt, ergibt sich kein Unterschied!