



### Experimente

- [01] Lasse ein Stück Papier und einen Golfball aus 1,5 m Höhe fallen. Vergleiche die Fallzeit beider Körper. Welche Vermutung hat dein Team? Formuliere die physikalische Vorstellung, euer Wissen, eure Theorie, die bei eurer Vermutung eine Rolle spielt. Macht Vorhersagen und plant Experimente, mit denen ihr eure Vorhersagen verifizieren (bestätigen) oder falsifizieren (verwerfen) könnt.
- [02] Faltet das Papier so klein wie möglich zusammen und wiederholt den obigen Versuch! Bestätigt dieses Experiment eure Theorie? Was kann man aus diesen beiden Experimenten schließen?

An Wasserautomaten überall in der Stadt (z.B. auch im DM-Markt oder im Real) findet man weiße Papierkegel. Wenn ihr das nächste Mal Wasser aus einem solchen Papierkegel trinkt, werft ihr ihn bitte nicht weg, sondern bringt ihn mit in den Unterricht. Wir machen dann mit diesem Papierkegel folgende Experimente:

- [03] Was erwartet ihr, wenn ihr den Papierkegel parallel zu dem Golfball fallen lasst. Formuliert zuerst eure Vorhersage – schriftlich! Erst dann das Experiment durchführen. Liegt ihr mit eurer Vermutung richtig?
- [04] Was erwartet ihr, wenn ihr einen weiteren Golfball in den Trichter legt und dann parallel zu dem Golfball fallen lasst? Wird der Trichter „stabiler fallen“ ... wird er wesentlich langsamer sein als der „Solo-Golfball“? Formuliert wieder zuerst eure Vorhersage – schriftlich! Erst dann das Experiment durchführen. Liegt ihr mit eurer Vermutung richtig?
- [05] Was erwartet ihr, wenn ihr zwei Luftballone von einem Hochhaus fallen lasst und hierbei die Luftballone folgendermaßen präpariert sind: Der eine ist nur halb mit Wasser gefüllt ... der andere fast vollständig. Beide Luftballone haben aber genau die gleiche Größe.
- [06] Diskutiert in eurem Team, wo liegt der Schwerpunkt bei dem Papierkegel mit Golfball?
- [07] Diskutiert den Schwerpunkt bei dem Stehaufmännchen auf dem Labortisch? Wo befindet sich der Schwerpunkt im Vergleich zum Auflagepunkt ... warum fällt das Männchen nicht um?
- [08] Warum tragen Silvesterraketen einen Holzstab seitlich an der Rakete! Dieser Stab hat nicht nur die Funktion, dass man die Rakete mit dem Stab in eine Sektflasche stecken und abschießen kann. Wenn ihr den Stab entfernt und die Rakete ohne diesen Stab anzündet, besteht erhebliche Verletzungsgefahr! Warum?
- [09] Warum bewegen sich „Objekte“, die gezogen werden, wesentlich stabiler als „geschobene Objekte“. Probiert das mit Fahrwagen aus der Physiksammlung aus. Die Physiklehrkraft gibt euch dazu einen kleinen Wagen, der vorher abgeräumt wird ☺
- [10] Wo liegt der Schwerpunkt bei einem Pfeil mit einer Metallspitze und einer Fiederung? Wo liegt der sogenannte „aerodynamische Druckpunkt“? Findet ihr eine gute Erklärung für den „aerodynamischen Druckpunkt“?
- [11] Wo liegt der Schwerpunkt bei einem Flugzeug im Vergleich zum Angriffspunkt der Auftriebskräfte? Welche Rolle spielt hierbei für einen stabilen Flug das Höhenleitwerk? Wo liegt der Angriffspunkt der Triebwerke im Vergleich zum Schwerpunkt des Flugzeuges?
- [12] Der obige Papierkegel, mit dem wir experimentiert haben, fliegt stabil mit der Spitze nach vorne – der Pfeil ebenfalls. Wie muss eine Apollo-Kapsel gebaut sein, damit sie stabil mit dem Hitzeschild voraus in die Atmosphäre eindringen konnte? War musste man beachten, damit die Kapsel bei der Wasserung stabil schwamm?

## Lösungshinweise

- [01] Lasse ein Stück Papier und einen Golfball aus 1,5 m Höhe fallen. Vergleiche die Fallzeit beider Körper.  
→ Das Papier benötigt eine viel größere Zeit ... im Regelfall kommt die Vermutung, dass der Golfball wesentlich schwerer ist als das Papier ...
- [02] Faltet das Papier so klein wie möglich zusammen und wiederholt den obigen Versuch.  
→ Jetzt kommt das Papier und der Golfball „gleichzeitig“ unten an, wenn man sie wirklich „gleichzeitig“ los lässt.
- [03] Was erwartet ihr, wenn ihr den Papierkegel parallel zu dem Golfball fallen lasst.  
→ Der Papierkegel kommt deutlich später am Boden an ... das könnte am größeren Luftwiderstand liegen ...
- [04] Was erwartet ihr, wenn ihr einen weiteren Golfball in den Trichter legt und dann parallel zu dem Golfball fallen lasst? Wird der Trichter „stabiler fallen“ ... wird er wesentlich langsamer sein als der „Solo-Golfball“?  
→ Nun kommt der Papierkegel gleichzeitig mit dem Golfball auf ... Der Luftwiderstand ist zwar größer aber ... siehe nächstes Experiment ...
- [05] Was erwartet ihr, wenn ihr zwei Luftballone von einem Hochhaus fallen lasst und hierbei die Luftballone folgendermaßen präpariert sind: Der eine ist nur halb mit Wasser gefüllt ... der andere fast vollständig. Beide Luftballone haben aber genau die gleiche Größe.  
→ Die beiden Luftballone kommen deutlich unterschiedlich unten an, obwohl sie den gleichen Luftwiderstand erfahren.  
Durch diese beiden Experimente wird deutlich, dass die Entscheidung, welcher Körper bei gleicher Fallhöhe und gleichzeitigem Loslassen zuerst den Boden erreicht, von folgendem Zusammenspiel abhängt:
- Die Schwerkraft auf den Körper wirkt nach unten und hängt nur von seiner Masse  $m$  ab.
  - Die Luftwiderstandskraft auf den Körper wirkt nach oben und ist eine Funktion der Oberfläche und der Oberflächenform ... UND vor allem ist sie eine Funktion der Geschwindigkeit ... sie wächst also mit zunehmender Geschwindigkeit des Körpers an ...
  - Die Differenz zwischen diesen beiden Körpern wirkt auf den Körper als beschleunigende Resultierende ... Wenn die Geschwindigkeit des Körpers wächst, wächst die Luftwiderstandskraft ... bis keine resultierende Kraft mehr vorhanden ist ... in diesem Fall schwebt oder fällt der Körper mit konstanter Geschwindigkeit zu Boden. Bei einer Flaumfeder ist dieses Schweben schon ganz kurz nach dem Loslassen erreicht ... bei einem „Freifaller“ beträgt die maximal Fallgeschwindigkeit je nach Anzug und Haltung im Luftstrom etwa 200 km/h
- [06] Diskutiert in eurem Team, wo liegt der Schwerpunkt bei dem Papierkegel mit Golfball?  
→ Der Schwerpunkt liegt unterhalb des „aerodynamischen Druckpunktes“ ... und deshalb wird der Körper gewissermaßen „gezogen“ ... fällt also relativ stabil.
- [07] Diskutiert den Schwerpunkt bei dem Stehaufmännchen auf dem Labortisch? Wo befindet sich der Schwerpunkt im Vergleich zum Auflagepunkt ... warum fällt das Männchen nicht um?  
→ Der Schwerpunkt des Stehaufmännchens liegt extrem tief. Jede seitliche Bewegung führt dazu, dass der Schwerpunkt gewissermaßen angehoben wird ... der Schwerpunkt liegt also in seiner tiefsten möglichen Lage – das Männchen steht also in einem „stabilen Gleichgewicht“.
- [08] Warum tragen Silvesterraketen einen Holzstab seitlich an der Rakete! Dieser Stab hat nicht nur die Funktion, dass man die Rakete mit dem Stab in eine Sektfflasche stecken und abschießen kann. Wenn ihr den Stab entfernt und die Rakete ohne diesen Stab anzündet, besteht erhebliche Verletzungsgefahr! Warum?  
→ Der Holzstab führt dazu, dass der Schwerpunkt der Rakete hinter dem Punkt liegt, an dem die Rakete durch den Treibsatz nach vorne gezogen wird. ... die Rakete mit Stab wird also gewissermaßen gezogen. Wenn man den Holzstab entfernt, wandert der Schwerpunkt in etwa in die Mitte der Restrakete ... er liegt also vor dem Angriffspunkt der Treibsatzes ... der Treibsatz schiebt in dieser Konstellation die Rakete ... und das ist ein extrem instabile Konstruktion ... sie wird durch Störungen sehr schnell die Richtung ändern und wild in der Gegend herumfliegen ☹
- [09] Warum bewegen sich „Objekte“, die gezogen werden, wesentlich stabiler als „geschobene Objekte“. Probiert das mit Fahrwagen aus der Physiksammlung aus. Die Physiklehrkraft gibt euch dazu einen kleinen Wagen, der vorher abgeräumt wird ☺  
→ Bei gezogenen Objekten werden Störungen (also Richtungsänderungen) durch die Zugkräfte in die vorige Zugrichtung kompensiert ... Beim Schieben werden Richtungsänderungen durch Störung durch die anschließenden Schubkräfte verstärkt ... Das hat den Vorteil, dass man einen geschobenen Wagen um eine engere Kurve bringen kann ... man muss beim Fahren aber aufpassen, Störungen ständig aktiv zu kompensieren.
- [10] Wo liegt der Schwerpunkt bei einem Pfeil mit einer Metallspitze und einer Fiederung? Wo liegt der sogenannte „aerodynamische Druckpunkt“? Findet ihr eine gute Erklärung für den „aerodynamischen Druckpunkt“?  
→ Der Schwerpunkt liegt relativ weit vorne und der aerodynamische Druckpunkt liegt in der Gegen der Fiederung ... d.h. der Pfeil fliegt stabil, weil Störungen (siehe oben) nicht verstärkt, sondern gedämpft werden.
- [11] Wo liegt der Schwerpunkt bei einem Flugzeug im Vergleich zum Angriffspunkt der Auftriebskräfte? Welche Rolle spielt hierbei für einen stabilen Flug das Höhenleitwerk? Wo liegt der Angriffspunkt der Triebwerke im Vergleich zum Schwerpunkt des Flugzeuges?  
→ ... wie in den obigen Fällen sollte eine „Zieh-Konstellation“ vorliegen ... d.h. der Schwerpunkt sollte hinter dem Angriffspunkt der Schubkräfte der Düsen liegen und der Schwerpunkt sollte vor dem Angriffspunkt der

Auftriebskräfte liegen (das Höhenleitwerk wirkt also mit Abtriebskräften) ... dann werden Störungen in der Horizontalen Fluglage durch das Höhenleitwerk sicher gedämpft.

[12] Der obige Papierkegel, mit dem wir experimentiert haben, fliegt stabil mit der Spitze nach vorne – der Pfeil ebenfalls. Wie muss eine Apollo-Kapsel gebaut sein, damit sie stabil mit dem Hitzeschild voraus in die Atmosphäre eindringen konnte?

→ Der Schwerpunkt der Apollo-Kapsel lag in der Rundung des Hitzeschildes ... also möglichst tief am Boden der Apollokapsel ... der aerodynamische Druckpunkt lag weiter oben in Richtung der Spitze des Apollo-Kegels. Das bewirkt eine stabile Fluglage, weil eine „Zieh-Konstellation“ wie beim Pfeil vorlag.

→ Der Angriffspunkt der Auftriebskräfte nach der Wasserung lag auch oberhalb des Schwerpunktes, so dass die Kapsel im Meer auch stabil geschwommen ist.