



## Das sind wir

WIR ALLE

Wenn wir dieses Bild "in Mikrogravitation" gemacht hätten, würde es ganz anders aussehen. Wir wären nicht alle in einer Reihe, sondern würden umherschweben.

Damit wären wir auch schon beim Thema: Wir wollten wissen, wie verschiedene Vorgänge unter Mikrogravitationsbedingungen ablaufen, und das nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis. Also bauten wir eine Fallkapsel und wir kürten sie zur schönsten Fallkapsel ganz Deutschlands. Doch dazu später mehr.

Neben unserer Arbeit am Projekt, haben wir noch viele andere, nützliche Dinge gelernt:

- Dass heißes Glas sehr heiß sein und wunderschöne Brandblasen verursachen kann.
  Stimmt's Celia? ;-)
- · Dass die Sägeblätter Nicolás nicht mögen.
- · Dass Fallschirme an Raketen nur dann etwas bringen, wenn die sich öffnen.
- Dass Mac-Computer einen zur Verzweiflung bringen, wenn man damit nicht umgehen kann.
- · Dass das Auslösen von Wasserraketen eine feuchte Angelegenheit ist.
- · Dass wir ein super Team sein können; nicht nur wenn es darum geht, bei den "Highland-Games" den Sieg zu erkämpfen.

Wir, das sind ungefähr  $\pi^2 + 2$  Teilnehmer, 1 Schülermentor und 2 Kursleiter.

#### Die Teilnehmer genauer unter der Lupe ...

- Oliver Neben Saxophonspielen und sportlichen Betätigungen war er während der Akademie mit der Planung und dem Bau der Kapsel beschäftigt. Der von Württembergern manchmal als Badenser bezeichnete Gaggenauer liebt das Radfahren und würde manchmal gern einfach wegfahren!
- Nicolás Ob mit Akzent nach rechts oder links, darüber wurde schon viel diskutiert. Er war hauptsächlich mit dem Bau der Kapsel beschäftigt und daher Ansprechpartner Nummer 1 in Sachen Kapsel und Modellbau. Vom Bodensee kommt er her und leidenschaftlicher Dauersänger ist er.
- Daniel Obwohl er zu Hause kein Internet hat, kennt er sich gut mit Computern aus. Seine planerischen und handwerklichen Fähigkeiten sind fabelhaft. Daher war er auch in fast allen Bereichen des Projekts tätig.
- Nam "Sportlich, intelligent und immer gut für einen Witz", besser kann man den Vietnamesen aus Tübingen kaum beschreiben. Er war regelmäßiger Teilnehmer von Jingfans Sport-KüA und belustigte uns auch immer wieder als Möchtegern-Zauberer.
- Charlotte Zusammen mit Valentina war sie das Herz der Präsentationsorganisation und auch beim Bau in Sachen Grundplatte war sie unentbehrlich. Sie arbeitet zielstrebig, konzentriert und mit enormer Ausdauer, auch mal über die Kurszeiten hinaus. Des öfteren erntete sie unverständliche Blicke wegen ihrer "Senkrechtschrift".
- Valentina Die zweite Hälfte der Präsentationsvorbereitung war immer da, wenn jemand Hilfe brauchte, wusste alles über den derzeitigen Stand der Experimente und zeichnete sich durch unglaubliche Ausdauer aus. Auch sie machte des öfteren zusammen mit Charlotte Überstunden.

- Lukas "Better known as Lukki Schnukki", dieser Satz machte den Stuttgarter in der Akademie bekannt. Zusammen mit Sandra sorgte er dafür, dass die Kapsel bei der Landung heil blieb. Sportlich und musikalisch begabt arbeitete er konzentriert und war auch immer gut aufgelegt.
- Sandra Ob es um das Auffangen der Kapsel oder um den Bau einiger Experimente ging, sie konnte einem immer weiterhelfen. Neben ihren Instrumenten gefiel ihr das Genießen der Adelsheimer Sonne ganz besonders.
- Lena In Sachen Festorganisation war sie sehr engagiert und hatte im Kurs den Überblick über alle Experimente, von der Planung bis zum Testen. Mit Nam zusammen könnte sie ein ganzes Buch voller Witze schreiben. Dementsprechend gut war auch die Stimmung, wenn sie da war.
- Lisa Elisabeth, wie sie eigentlich heißt, aber nicht genannt werden will, rief die Kunst-KüA ins Leben. Ihrem Fotoapparat entging keine Situation und so war sie die Quelle, wenn jemand Bilder brauchte.
- Nicolai Er war ein super Teammitglied und stand immer für Fragen und Anregungen zur Verfügung. Sein Dauerlächeln kann man kaum vergessen...Schade war, dass er am Dokumentationswochenende wegen eines Englandaustauschs nicht kam.
- Jan Als Miterbauer des Auslösemechanismus arbeitete er konzentriert und war auch immer bereit, anderen zu helfen. Auf den Gesamtgruppenfotos schaffte er es immer wieder, als Einziger wegzuschauen. Beim Schreiben der Dokumentation zeigte er bis zum Schluss große Ausdauer.

#### ... und die Leiter

Jingfan Ye Der Karlsruher leitete die Sport-KüA und hüpft für sein Leben gern. Jingy schaffte es, noch im allerletzten Moment die Briefwaage für ein Experiment zu besorgen. Er war immer da, wenn man jemand zum Reden brauchte und wurde des öfteren als Chinesisch-Dolmetscher missbraucht. Celia Viermann Es gab nichts, was sie nicht wusste, und sie erzählte gerne mal von ihren Erfahrungen. Auch an sie konnte man sich immer mit Fragen wenden. Zusammen mit Georg opferte sie abends ihre Freizeit, um im Labor einen Mikrogravitationssensor zu löten. Sie versorgte uns in den kritischen Phasen des Dokumentationswochenendes fürsorglich mit Nervennahrung, konnte aber ganz schön kleinlich sein, wenn es um die Texte ging.

Georg Wilke Er brachte uns hin und wieder durch seine endlos vielen Schnappschüsse mit seiner heiligen Spiegelreflexkamera auf die Palme. Als überzeugter Open-Office-Fan regte er sich gerne mal heftig über PowerPoint-Nutzer auf. Bei Fragen war er immer bereit mit Fachwissen auszuhelfen und schweifte auch mal ein bisschen weiter ab. Am Doku-Wochenende trieb er uns mit seinen unermüdlichen Verbesserungsfreude an die Grenzen des Wahnsinns.



...gleich geht es los!

ZICKEZACKE ZICKEZACKE MIKROS HEY!!!

#### Theorie ...

CHARLOTTE MEWES, VALENTINA ROHNACHER, ELISABETH SCHÄFER

Ziel unseres Kurses war es, eine Fallkapsel zu bauen, in der man Mikrogravitationsexperimente durchführen konnte. Wir wollten diese Experimente filmen und auswerten, um so Rückschlüsse auf den Ablauf bestimmter Vorgänge zu ziehen.

Das ist ja leicht, könnte man meinen. Doch auf die Schnelle eine Kapsel bauen und vom Dach fallen lassen; so einfach war es dann doch nicht! Vor Beginn der Planung beschäftigten wir uns erstmal mit der "Theorie des Fallens". Schließlich wollten wir ja die Physik verstehen, die hinter unserem Projekt stand und dafür brauchten wir physikalische und mathematische Grundlagen.

Mit folgenden Fragen wurden wir dabei konfrontiert:

- · Wie erreicht man Mikrogravitation?
- · Welche Auswirkungen hat der Luftwiderstand?
- · Welche Kapselform verursacht den geringsten Luftwiderstand?
- · Welche Experimente lassen sich in der Kapsel durchführen?

Die Antworten auf diese Fragen erarbeiteten wir uns während der zwei Wochen in den fast allmorgendlichen (zeitweise nicht enden wollenden) Theoriestunden. Ein großes Lob gebührt unseren Kursleitern, die versucht haben, uns die notwendige Theorie möglichst verständlich in der kurzen Zeit beizubringen, wobei wir manchmal aber auch in die Quantenphysik oder Integralrechnung abgeschweift sind...;-)



#### Was ist Mikrogravitation?

Mikrogravitation bezeichnet den Zustand der Fast-Schwerelosigkeit. Da der Begriff "Schwerelosigkeit" fälschlicherweise häufig mit Masselosigkeit in Verbindung gebracht wird, sollte besser von Mikrogravitation gesprochen werden.

Mikrogravitation wird immer dann erreicht, wenn in einem System die Gravitationskraft die einzig wirkende äußere Kraft ist. Innerhalb eines solchen Systems sind keine Beschleunigungen mehr messbar, da alle Körper gleich schnell fallen (s. Galilei). Gravitationskräfte gibt es aber weiterhin. Diese treten immer dort auf, wo zwei Massen vorhanden sind und sich daher anziehen.

Was "in Mikrogravitation" nicht mehr messbar ist, ist die Gewichtskraft. Das bedeutet, dass eine Waage nichts anzeigen würde, wenn man "in Mikrogravitation" auf ihr stünde.

Aber wozu kann dieser Zustand genutzt werden?

#### Mikrogravitationsforschung

Viele Vorgänge, wie sie auf der Erde unter der Gewichtskraft auftreten, sind für uns alltäglich: Luftblasen steigen nach oben, Pflanzen wachsen dem Himmel entgegen, ein Stift fällt zum Boden. Doch was würde passieren, wenn keine Gewichtskraft mehr spürbar ist, d. h. das System sich in Mikrogravitation befindet? Wie können wir das so gewonnene Wissen nutzen?

Aus diesen Gründen betreiben Naturwissenschaftler und Techniker Mikrogravitationsforschung und führen Versuche durch. Sie möchten und wollen auch in Zukunft Antworten auf biologische (wie Zellwachstum), auf technische (beispielsweise Materialforschung und Kristallzucht) und natürlich auf physikalische Fragestellungen (z.B. Verbrennungsvorgänge) finden.

Das Wissen, das so nach vielen Versuchsreihen und mühsamen Auswertungsprozessen erlangt wird, kann vielseitig eingesetzt werden. So helfen die Erkenntnisse in der Humanbiologie, Astronauten besser auf ihre Zeit im All vorzubereiten und ihren Körper während der Schwerelosigkeit so gut wie möglich in Form zu halten. Aber auch zu technischem Fortschritt kann Mikrogravitationsforschung verhelfen: So könnten z.B. Siliziumkristalle – der Grundbaustoff von Computerchips– in Mikrogravitation viel reiner hergestellt werden als auf der

Erde. Das ist leider aus finanziellen Gründen heute noch nicht umsetzbar.

Da wir der Physik-Kurs sind, haben wir uns auf die physikalische Grundlagenforschung fokussiert. Wir sind verschiedenen Fragen nachgegangen und haben uns dazu Experimente überlegt, die wir unter Mikrogravitationsbedingungen durchführen wollten.

# Wo kann man Mikrogravitationsexperimente durchführen?

Als nächstes haben wir uns überlegt, wie und vor allem wo wir unsere Mikrogravitationsexperimente am besten durchführen könnten, denn es gibt mehrere Möglichkeiten. Jede dieser Möglichkeiten basiert aber auf dem Prinzip des freien Falls, auch wenn das manchmal nicht auf den ersten Blick zu erkennen ist. Auf der Erde ist wegen des Luftwiderstandes kein idealer freier Fall möglich, da die Luft den fallenden Körper bremst. Somit wirkt neben der Gravitationskraft noch die Reibungskraft der Luft. Aus diesem Grund versucht man mit verschiedenen Mitteln, den Luftwiderstand möglichst gering zu halten.

- 1. International Space Station (ISS): Die wohl bekannteste Forschungseinrichtung für Mikrogravitationsforschung ist die ISS. Sie besitzt verschiedene Labore, in denen Langzeitexperimente durchgeführt werden. In einer Höhe, in der die ISS die Erde umkreist (in ca. 350–400 km Höhe), befindet sie sich nahezu im Vakuum, da fast keine Luftteilchen der Atmosphäre mehr vorhanden sind, die bremsend wirken. Aus diesem Grund erreicht man hier eine sehr gute "Mikrogravitationsqualität".
- 2. Forschungsraketen: Eine weitere Möglichkeit zur Durchführung von Mikrogravitationsexperimenten sind Forschungsraketen, auch "sounding rockets" genannt. Diese werden mit Experimenten an Bord in eine Höhe von ungefähr 700 km geschossen. Während des Flugs erreicht man so bis zu 15 Minuten lang Mikrogravitation. Da die Forschungsraketen sehr hoch fliegen, ist auch hier die Störung durch die Restatmosphäre gering.

- 3. Parabelflug: Während eines Parabelflugs herrscht auf der ganzen Parabelflugkurve im Flugzeug ungefähr 20 bis 30 Sekunden lang Mikrogravitation. Nur beim Abfangen und wieder Hochziehen des Flugzeugs wirkt die so genannte Hyper-Schwerkraft (2-fache Erdbeschleunigung). Im Gegensatz zu der ISS und den Forschungsraketen ist beim Parabelflug der Luftwiderstand nicht zu vernachlässigen. Man gleicht ihn mit der Schubkraft der Turbinen während der Mikrogravitationsphase aus, was sehr viel Erfahrung der Piloten erfordert.
- 4. Fallturm: In einem Turm, wie z. B. dem 123 m hohen Fallturm in Bremen, wird eine Kapsel mit Experimenten fallen gelassen. Um einen möglichst geringen Luftwiderstand zu erreichen, wird der Turm evakuiert (d. h. ein Vakuum wird erzeugt). Durch die kurze Fallzeit erreicht man allerdings nur für wenige Sekunden Mikrogravitation. Aus diesem Grund ist die Art der Experimente eingeschränkt. Beim Aufprall entstehen zudem hohe Beschleunigungskräfte (bis zu 50- fache Erdbeschleunigung). Dies schließt Experimente mit Lebewesen aus, da die hohe Belastung für sie tödlich wäre!

Da unser Kursbudget leider nicht für einen Parabelflug oder für eine bemannte Mission zur ISS gereicht hat, entschieden wir uns für das Prinzip des Fallturms. Da eine Evakuierung mit unseren Mitteln unmöglich war, mussten wir eine andere Lösung finden, um den Luftwiderstand zu minimieren.

#### Wie können wir Mikrogravitation erreichen?

Wenn Mikrogravitation herrscht, ist im fallenden System keine Gewichtskraft und keine Beschleunigung mehr messbar. Die Gravitationskraft ist dann die einzige wirksame äußere Kraft. Genau das ist beim freien Fall zu beobachten, wenn man sich klar macht, dass alle Körper unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes gleich schnell fallen.

Dazu stelle man sich vor, in einem Kasten zu sein, der frei fällt. Da alle Körper gleich schnell fallen, bleibt man an der Stelle ruhen, wo man steht, also bleibt der Abstand zum Kasten konstant. Im Kasten ist keine Beschleunigung messbar, da das System (d. h. der Kasten) und man selbst (im Kasten) gleich stark beschleunigt werden. Man kann daher auch nicht spüren, dass man fällt und nimmt es nicht wahr, wenn man nicht durch ein Fenster in dem Kasten alles an sich vorbeirauschen sieht oder den "Fahrtwind" wahrnähme.

Wollte man jetzt sein Gewicht ermitteln, könnte man sich im Kasten während des Falls auf eine Waage stellen. Aber da diese ebenfalls genauso schnell wie man selbst fällt, würde sie nichts anzeigen! Damit ist die Gewichtskraft im freien Fall nicht messbar, man fühlt sich "schwerelos". Damit sind die Bedingungen der Mikrogravitation erfüllt und man muss festhalten, dass beim freien Fall Mikrogravitation herrscht.

#### Galileis Gedankenexperiment

Die Vorstellung, die sich aus der Alltagserfahrung ergibt, dass schwere Körper schneller fallen als leichte, konnte schon Galilei widerlegen und zwar –in einer für die damalige Zeit typischen Weise– durch ein Gedankenexperiment, d. h. durch ein "Experiment", das sich ganz ohne Versuchsaufbau ausschließlich im Kopf durchführen lässt.

Galilei stellte sich dazu zwei Körper A und B vor, wobei A eine kleinere Masse als B besitzen sollte: Beide Massen ordnete er in Gedanken nebeneinander an und ließ sie gleichzeitig und aus gleicher Höhe fallen. Würde die gängige Vorstellung stimmen, dass schwere Körper schneller fallen als leichte, müsste die Masse B schneller am Boden ankommen als Masse A.



Im zweiten Schritt ordnete er den Körper B über dem Körper A an und stellte sich vor, was passieren würde, wenn man beide Massen erneut zum gleichen Zeitpunkt fallen ließe.

Geht man davon aus, dass die größere Masse



schneller fällt, müsste Körper B den Körper A nach einiger Zeit einholen. Ab diesem Moment könnten aber zwei Fälle gleichzeitig eintreten:

- Körper B wird von Körper A abgebremst und beide Körper fallen gemeinsam langsamer als Körper B weiter. Körper B würde also später aufschlagen, als wenn er allein gefallen wäre.
- 2. Körper A und B bilden zusammen einen Körper mit noch größerer Masse als B und müssten dadurch noch schneller fallen als B alleine. Körper B würde also früher aufschlagen, als wenn er allein gefallen wäre.

Das ist eindeutig ein Widerspruch und Galilei –und wenig später auch wir– schloss daraus, dass alle Körper gleich schnell fallen müssen!

Warum entspricht aber diese Erkenntnis überhaupt nicht unseren Erfahrungswerten? Lassen wir beispielsweise einen Stein und ein Blatt Papier aus gleicher Höhe fallen, kommt der Stein deutlich früher als das Papier auf dem Boden an! Das liegt aber im Wesentlichen nicht daran, dass der Stein die größere Masse hat, sondern daran, dass das Papier einen viel größeren Luftwiderstand erzeugt. Knüllt man das Papier zusammen und minimiert damit den Luftwiderstand, stellt man fest, dass Papier und Stein annähernd gleich schnell fallen. Daraus ergibt sich ein wichtiger Zusatz zu Galileis Erkenntnis:

Alle Körper fallen gleich schnell, wenn sie sich im luftleeren Raum (im Vakuum) befinden!

#### **Der Luftwiderstand**

Nach kurzer Überlegung mussten wir uns damit abfinden, dass wir unseren Gruppenraum oder den Bereich zwischen Dach und Wiese nicht würden evakuieren können, dass wir also wegen des Luftwiderstandes nicht auf der ganzen, geplanten Fallstrecke (9 Meter) Mikrogravitation erreichen würden.

Doch dann kam der Schock: Theoretisch würden wir nicht einmal eine Sekunde Mikrogravitation haben, d. h. weniger als 1 m nutzbare Fallstrecke! Uns damit abzufinden, kam nicht in Frage. Um eine Lösung zu finden, hieß es sich näher mit dem Thema Luftwiderstand befassen. Jingfan schaffte es, uns das Wichtigste an einem Morgen zu erklären.

Der Luftwiderstand (Reibung) berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

d. h. er ist zu folgenden Faktoren proportional:

- 1. der Größe der Frontfläche A des Körpers
- 2. der Dichte  $\rho$  des Mediums (Luft)
- 3. dem Quadrat der Geschwindigkeit v durch das Medium (Luft)

In der einheitenlosen Proportionalitätskonstante  $c_w$  werden Oberflächenbeschaffenheit und Formabhängigkeiten berücksichtigt.

Wenn wir also einen geringeren Luftwiderstand haben wollten, müssten wir mindestens einen der Faktoren verringern. Dazu gab es aber nich viele Möglichkeiten.

Die Frontfläche war schon so minimal wie möglich, dass die Experimente gerade so hinein passten. Die Dichte der Luft ließ sich schwer beeinflussen (obwohl wir bis zum Schluss auf ein plötzliches Vakuum über Adelsheim gehofft hatten). Eine kugelförmige Kapsel wäre ideal gewesen, jedoch schwer umzusetzen. So blieb als einzige Möglichkeit nur die Verminderung der Geschwindigkeit. Die Auswirkung wäre zudem besonders stark, da die Geschwindigkeit quadratisch eingeht.

Aber würde das einem freien Fall nicht widersprechen? Es entstand die Idee, "die Kapsel in einer zweiten Kapsel fallen zu lassen", sodass die kleine Kapsel mit den Experimenten im "Windschatten" der großen Kapsel fällt. Da die Geschwindigkeit v relativ zur umgebenden Luft ermittelt wird, die Luft in der großen Kapsel aber "mitfällt", verringert sich die Geschwindigkeit der kleinen Kapsel relativ zur mitfallenden Luft. Das war die Lösung und wir konnten uns nun gezielt der Praxis zuwenden und mit dem Bau der Kapsel beginnen.

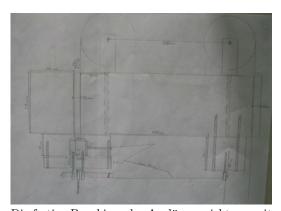
#### ... und Praxis

Daniel Krawczyk, Lukas Rückle

Um effizient arbeiten zu können, teilten wir uns für die verschiedenen Arbeitsbereiche in vier Teilgruppen ein, die sich jeweils um die Konstruktion und den Bau ihres Teilbereichs kümmerten: Auslösemechanismus, Kapsel, Auffangvorrichtung und Grundplatte mit Experimenten.



Ideenskizzen und erste Baupläne wurden im Gruppenplenum vorgestellt und gemeinsam diskutiert. So wurden die Ideen überarbeitet oder verbessert. Bei der anschließenden Erstellung von bemaßten Skizzen war die Zusammenarbeit zwischen den Gruppen besonders wichtig, da z. B. die Schnittstellen abgeklärt werden mussten: Wie viel Platz brauchen die Experimente? Wo soll die Kamera hin? Stört die Aufhängung? u. a.



Die fertige Bauskizze der Auslösevorrichtung mit Maßen

Nach all den Vorüberlegungen ging es ans Bauen. Als Baumaterialien verwendeten wir hauptsächlich Holz, Plexiglas und Schaumstoff. Im Werkraum hatten wir folgende Werkzeuge zur Verfügung: Bohrer, einen Heißdrahtschneider

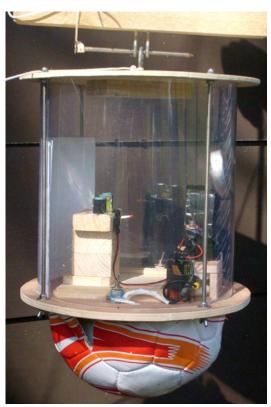


für Plexiglas oder Schaumstoff, eine Oberfräse, eine Dekupiersäge und eine Stichsäge. Wir richteten einen Material- und Werkzeugtisch ein und ließen zwei Tische zum Arbeiten frei. Im Verlauf der Zeit wurden die einzelnen Bauteile immer wieder getestet und auftretende Probleme beseitigt.



#### Die beiden Fallkapseln

Die innere Fallkapsel, in der die Experimente und die Funk-Videokamera angebracht sind, besteht aus der Grundplatte, einem alten Fußball als Stoßdämpfer, einem Deckel mit einer Öse, um die Kapsel am Auslösemechanismus zu befestigen, und vier Gewindestangen, die zur Stabilisierung des Plexiglasrohres dienen und alles zusammen halten. Auf der Grundplatte sind die Kamera mit dem Funksystem, Führungsschienen für die Experimentierplattformen und ein Beschleunigungssensor befestigt, den unsere Kursleiter bis tief in die Nacht gelötet hatten. Mit Hilfe des Beschleunigungsmessers konnten wir im Experiment genau feststellen, wann Mikrogravitation herrschte.



Die innere Fallkapsel mit der Experimentierplattform (links) und dem Funk-Video-System (rechts)

Doch bevor die Kapsel ihr endgültiges Aussehen erhielt, hatten wir viel zu tun. Als erstes mussten wir uns über die Form der Kapsel Gedanken machen. Den ersten Entwurf der Fallkapsel mussten wir allerdings noch optimieren, weil die Kapsel den Aufprall in dieser Form wahrscheinlich nicht überstanden hätte. Wir

entschieden uns daher für eine stabilere, zylindrische Form, obwohl die Kapsel so schwieriger zu bauen war.

Als schließlich alle Skizzen fertig waren, konnten wir anfangen, die Fallkapsel zu bauen. Wir sägten als erstes mit der Dekupiersäge eine Grundplatte zu, auf der später die Experimente und die Kamera befestigt wurde. Die Batterien betteten wir in Schaumstoff ein und befestigten sie zwischen dem Fußball, der den Aufprall der Kapsel dämpfte, und der Grundplatte. Sie lieferten die Energie für Kamera und Funk-Sender, der das Video in Echtzeit an einen Laptop schickte.



Die äußere Fallkapsel vor dem Hochziehen. Man erkennt im Inneren die kleinere Experimentierkapsel.

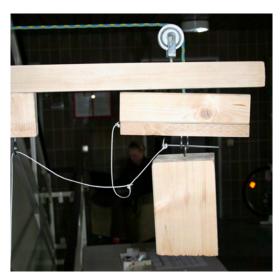
Danach haben wir zum Schutz der Kamera und der Experimente das Plexiglas mit dem Hitzdraht passend zugeschnitten und mit Epoxydharz verklebt, so dass es ein Rohr bildete. Gewindestangen verstärkten den Plexiglaszylinder. Schließlich brauchten wir noch einen Deckel, den wir, wie die Grundplatte, aus einer Sperrholzplatte aussägten. An ihm war einer

ne Öse für den Auslösemechanismus befestigt. Nachdem in etlichen Versuchen im Fall aus 1 m Höhe die Kameraeinstellungen getestet und optimiert hatten, blieb nur noch ein Problem übrig: Der Luftwiderstand. Um dieses Problem zu lösen haben wir eine zweite, deutlich längere Kapsel (siehe Abbildung) um die erste herum gebaut.

Die innere Kapsel wurde an einer Leine angebunden, die am Deckel der großen Kapsel befestigt war, damit man sie heraus ziehen konnte, wenn sie auf dem Boden der äußeren Kapsel lag. In die große Kapsel füllten wir Schaumstoffschnipsel, damit die kleine Kapsel beim Aufprall nicht beschädigt wurde.

#### Der Auslösemechanismus

Das Herzstück des Auslösemechanismus' hängt an einem Galgen, welcher wiederum an einer Feuerleiter befestigt ist. Es besteht aus zwei Ösen, die in einen Holzklotz geschraubt sind, und einer weiteren Öse, die im Kapseldeckel befestigt ist. Um die Kapsel zu befestigen, werden die drei Ösen in eine Reihe gebracht und durch einen Nagel fixiert.



Am Ende des Nagels befindet sich eine Schnur als Auslöseseil. Wird sie gezogen, rutscht der Nagel aus den Ösen und die Kapsel fällt (Bei manchen Versuchen brauchten wir noch eine zweite Auslöseschnur für die Experimente, wie z.B. dem Pendel). Da die Schnur waagerecht herausgezogen werden musste, befestigten wir weiter hinten am Galgen eine Öse, die sie umlenkt.

Da die Fallkapseln am Boden bestückt und in 9 m ausgelöst werden sollte, mussten wir einen Weg finden, die Kapsel mitsamt dem Auslösemechanismus hochzuziehen und herunterzulassen. Hierfür befestigten wir den Holzklotz, an dem sich die Ösen befanden und der auch als Anschlag diente, an einem rutsch- und reißfesten Kletterseil. Dieses wurde mit zwei Führungsrollen umgelenkt, welche oben am Galgen angebracht waren. Im Galgen befanden sich zwei Löcher, durch die das Seil hindurchgezogen wurde. Damit der Auslösemechanismus mit der Kapsel vor dem Auslösen so hing, dass man den Nagel waagerecht herausziehen konnte, wurden Führungselemente angebracht. Diese drehten ihn in die richtige Position, und ermöglichten so ein sicheres Auslösen.



#### Die Auffangvorrichtung

Die Auffangvorrichtung bestand aus einem ca.  $1~{\rm m}^3$  großen Karton, der mit Schaumstoff- und Styroporstücken gefüllt war. Diese sollten die beim Aufprall freiwerdende Energie durch Verformung aufnehmen. Anfangs waren die Kunststoffstücke jedoch zu groß, sodass die Test-

kapsel wieder herausgeschleudert wurde. Also mussten alle Schaumstoffteile in ca. 2 cm große Stücke zerrissen werden. Nachdem der Test-Holzklotz aus 1 m Fallhöhe sicher im Karton landete, wagten wir den Test vom Balkon des 1., 2. und 3. Stocks. Die Vorrichtung bestand den Test und war somit einsatzbereit.

Während des Experimentes musste Georg –in Sicherheitskleidung– aufpassen, dass die Kapsel mit der Auffangvorrichtung am Boden nicht umkippte, was er, den gelegentlichen Blutverlust im Dienste der Wissenschaft ignorierend, auch erfolgreich tat.



Celia und Jingfan bei der Aufsicht im Werkraum.

## Die Experimente

NAM LUU HOAI, LENA SALFENMOSER, SANDRA WARNECKE

Da die Kapsel nur etwa 1,5 Sekunden lang fiel, mussten wir uns auf Versuche beschränken, bei denen der Effekt schon nach kurzer Zeit deutlich wurde.

#### Versuch 1: Magnete

Drei keramische Magnete wurden auf einen Holzstab aufgereiht und so gepolt, dass sie sich abstießen. Aufgrund des Kräftegleichgewichts zwischen Schwer- und Magnetkraft blieben die Magnete etwa einen Zentimeter übereinander in der Schwebe. Damit sie beim Aufprall nicht aneinanderstießen und zerbrachen, wurden zwischen den Magneten dünne Schaumstoffpolsterungen angebracht.

Beobachtung im freien Fall: Die Magnete verteilten sich gleichmäßig auf dem Holzstab.

Erklärung: Dadurch dass die Schwerkraft wegfiel, blieb als einzige Kraft die abstoßende, magnetische übrig. Ohne die Holzanschläge wären die Magnete ganz auseinander geflogen.



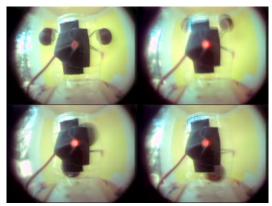
Die Magnete unter Schwerkraft (oben) und in Mikrogravitation (unten).

#### Versuch 2: Gummibänder

Auf der Experimentierplatte wurde der untere Teil einer aufgeschnittenen Plastikflasche befestigt. In der Mitte des Flaschenbodens brachten wir zwei Gummibänder an, an deren Enden je eine Holzkugel so verknotet war, dass die Gummis zwar unter Spannung standen, die Holzkugeln jedoch nicht über den Flaschenrand in das Innere ziehen konnten. Auch hier befanden sich Schwerkraft und die Spannkraft der Bänder im Gleichgewicht.

Beobachtung im freien Fall: Die Kugeln wurden durch die Gummibänder in das Innere der Flasche gezogen.

**Erklärung:** In dem Zustand der Mikrogravitation blieb als einzige Kraft die Zugkraft der Bänder wirksam.



Bildersequenz (von links oben nach rechts unten). Die rote LED im 2.–4. Bild zeigt an, dass Mikrogravitation herrscht.

#### Versuch 3: Briefwaage

Wir benutzten eine Briefwaage, die wir mit Holzklötzchen beschwerten, damit die Beobachtung deutlicher wurde.



Unter Schwerkraft (oben) zeigt die Briefwaage etwas über 40 g an, in Mikrogravitation (unten) dagegen -5 g.

Beobachtung im freien Fall: Die Nadel zeigte weniger als null Gramm an.

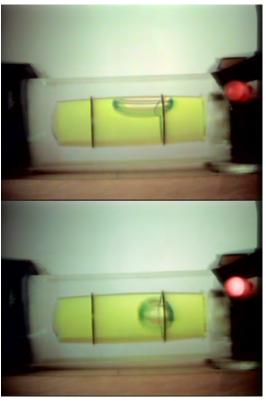
**Erklärung:** Der Grund hierfür liegt in dem Herzstück der Waage: Einer Feder. Durch die

"Schwerelosigkeit" der Klötzchen konnte sich die Feder völlig entspannen. Wenn die Waage unter normalen Bedingungen null Gramm anzeigte, so war die Feder durch das Gewicht der Waagschale zusammengedrückt. Nur in Mikrogravitation entspannt sich die Feder völlig.

Bei allen drei bisherigen Versuchen in Mikrogravitation hob sich das Kräftegleichgewicht auf, also trat die Kraft neben der Gewichtskraft in Erscheinung: Die Magnete schoben sich auf dem Holzstab auseinander, die Gummibänder zogen sich zusammen und die Waage zeigte weniger als null Gramm an.

#### Versuch 4: Libelle

In diesem Versuch beobachteten wir eine handelsübliche Libelle, wie man sie z. B. von einer Wasserwaage her kennt. Dabei ging es physikalisch um die sogenannte Oberflächenspannung zwischen der Luftblase und der sie umgebenden Flüssigkeit. Die Oberfläche einer Flüssigkeit verhält sich nämlich ähnlich einer gespannten, elastischen Folie.



Die Libelle unter Schwerkraft (oben) und in Mikrogravitation (unten). Die rote LED zeigt an, dass Mikrogravitation herrscht.

Unter normalen Bedingungen nimmt die Luftblase am oberen Rand des Gefäßes eine linsenförmige Gestalt an.

Beobachtung im freien Fall: Im freien Fall bildet die Luftblase eine Kugel, die vollkommen von der Flüssigkeit umschlossen wird. Die Blase schwebt frei in der Flüssigkeit und nicht mehr oben.

Erklärung: Flüssigkeiten haben das Bestreben, ihre Oberfläche zu verringern. Da bei vorgegebenem Volumen eine Kugel die geringste Oberfläche hat, versuchen Flüssigkeiten, auf die keine weiteren Kräfte wirken, wie etwa in der Schwerelosigkeit, Kugelform anzunehmen.

#### Versuch 5: Schraubglas mit Luftblase

Wir füllten ein Schraubglas bis auf eine kleine Luftblase mit Wasser und ließen es dann mit der Kapsel fallen.

Beobachtung im freien Fall: Wir beobachteten, dass auch hier die Luftblase bei Mikrogravitation kugelförmig wurde.

**Erklärung:** Auch hier war das Bestreben die Oberflächenspannung zu verringern der Grund für das Zusammenziehen.

#### Versuch 6: Quecksilbertropfen

In einem Reagenzglas befand sich eine kleine Menge Quecksilber. Quecksilber ist das einzige Metall und neben Brom das einzige Element, das bei Normalbedingungen flüssig ist. Aufgrund seiner hohen Oberflächenspannung benetzt Quecksilber seine Unterlage nicht, sondern bildet wegen seiner starken Oberflächenspannung linsenförmige Tropfen.

Beobachtung im freien Fall: Der Tropfen zieht sich so schnell zu einer Kugel zusammen, dass er vom Boden des Reagenzglases hochschnellt und dann diese Geschwindigkeit oben beibehält.

Erklärung: Wie in Versuch 4 und 5 versucht auch der Tropfen kugelförmige Gestalt anzunehmen. Die starke Kohäsion des Quecksilbers (Kohäsion bezeichnet in der Physik und Chemie die Zusammenhangskräfte zwischen den Atomen beziehungsweise Molekülen eines Stoffes) führt dazu, dass dies sehr abrupt geschieht und der Tropfen wie ein zusammengedrückter

Gummiball hochspringt, wenn die Gewichtskraft nicht mehr wirken kann.



Unter seiner eigenen Gewichtskraft formt sich der Quecksilbertropfen zu einer Linse (oben). In Mikrogravitation (unten) zieht er sich so schnell zu einer Kugel zusammen, dass er hochschnellt. Die rote LED zeigt an, dass Mikrogravitation herrscht.

Bei den Versuchen 4 bis 6 war die Oberflächenspannung die Ursache des beoachteten Verhaltens.

#### Versuch 7: Kerzenflamme

Verbrennungsprozesse laufen in Mikrogravitation ganz anders ab als unter normalen Umständen. Um dies näher zu untersuchen, ließen wir eine brennende Kerze in der Kapsel fallen.

Beobachtung im freien Fall: Die längliche Kerzenflamme schrumpfte und wurde kugelförmig. Dabei verlor sie deutlich an Helligkeit und erlosch sogar nach kurzer Zeit.

Erklärung: Heiße Gase, die bei der Verbrennung entstehen, haben eine geringere Dichte

als kalte. Daher steigen heiße Gase unter Normalbedingungen nach oben, und kalte sinken zu Boden. Oben und unten wird dabei durch die Gewichtskraft festgelegt. Unter Mikrogravitation steigen die heißen Verbrennungsgase jedoch nicht mehr auf, sondern verteilen sich nach allen Richtungen, d. h. kugelförmig um den Docht. Frischer Sauerstoff kann seitlich nicht mehr so gut nachströmen. Dies führte zu dem beobachteten Verhalten der Kerzenflamme.

(Leider ist das Video der Kerzenflamme sehr dunkel und wir können hier keine Bilder abdrucken.)

#### Versuch 8: Bayerische Sanduhr

Eine Bayerische Sanduhr enthält statt Sandkörnern und Luft, Öl und Plastikkügelchen, die aufgrund ihrer geringeren Dichte im Öl nach oben treiben. Die Kügelchen erfahren also eine Auftriebskraft.



Beobachtung im freien Fall: Sobald sich die Sanduhr im freien Fall befand, konnten wir feststellen, dass die Kügelchen langsamer und gleichmäßig nach oben stiegen. Ruhende Kugeln bleiben ruhend.

Erklärung: Normalerweise steigen die Kügelchen glichmäßig beschleunigt nach oben, d. h. sie werden beim Aufsteigen immer schneller (Der Effekt ist wegen der hohen Reibung im Öl allerdings nur schwach zu beobachten, in der Videoanalyse jedoch schon.) In Mikrogravitation fällt die Beschleunigung weg, so dass die Küglechen aufgrund ihrer Trägheit die Geschwindigkeit beibehalten, d. h. sie ruhen oder bewegen sich annähernd gleichförmig (allerdings gebremst durch das Öl) und geradlinig weiter.

#### Versuch 9: Magnesium in Essig

In einem Schraubglas befanden sich Essigsäure und ein Stück Magnesium. Das entstehende Gas steigt nach oben. Bei diesem Versuch waren Beobachtung und Erklärung die gleichen wie bei der Bayerischen Sanduhr.

Versuch 10: Styropor in Wasser



Hierbei befand sich ein Styroporstück in einem mit Wasser gefüllten Schraubglas. Unter normalen Bedingungen treibt das Styropor an der Wasseroberfläche. Wird es unter Wasser gedrückt, steigt es zur Wasseroberfläche zurück. Dieses Verhalten wollten wir unter Mikrogravitation testen. Hierfür musste sich das Styro-

por aber in dem Moment unter Wasser befinden, wenn die Mikrogravitation einsetzte. Deshalb mussten wir unsere Experimentierplatte dementsprechend anpassen.

Beobachtung im freien Fall: In Mikrogravitation blieb das Styropor unter Wasser und trieb nicht nach oben.

Erklärung: Das lag daran, dass es in Mikrogravitation kein "Oben" und "Unten" gibt. Da das Styropor im Gegensatz zu den Kügelchen bzw. Bläschen aus den vorherigen Versuchen keine Anfangsgeschwindigkeit besaß und auch sonst keine beschleunigenden Kräfte wirkten, musste es in Ruhe bleiben.

#### Versuch 11: Pendelbewegung

Desweiteren wollten wir eine Pendelbewegung unter Mikrogravitation untersuchen. Eine Schwierigkeit hierbei war, dass das Pendel zu Beginn des Falls schwingen musste. Da die Zeit zum Bestücken der Kapsel, heraufziehen und starten des Videosystems zu lang war, um das Pendel schon am Boden anzustoßen, mussten wir einen weiteren, von der Kapsel unabhängigen Auslösemechanismus konstruieren. Dazu wurde ein Faden so befestigt, dass er das Pendel ausgelenkt festhielt, bis alle Startvorbereitungen erledigt waren. Kurz nach dem Ausklinken der Kapsel gab der Faden dann das Pendel frei.



Beobachtung im freien Fall: Bei den Aufnahmen konnten wir zwei Fälle differenzieren:

- Befand sich das Pendel in Bewegung, behielt es seine Bewegung bei und führte daher eine Kreisbewegung durch.
- 2. Wenn sich das Pendel zu Beginn des Falls der Kapsel am Wendepunkt der Pendelbewegung, dem sogenannten Todpunkt, befand, blieb es dort stehen.

**Erklärung:** Das Pendel behielt die Richtung und die Geschwindigkeit bei, die es bei Eintritt der Mikrogravitation hatte.

### Besuch aus Oberpfaffenhofen

Jan Traub

# "Normaler" Tagesablauf? – Nicht für uns!

Neben dem selbstständigen Arbeiten im Kurs waren auch zwei Tage mit und bei Forschern des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) geplant. Diese sollten dazu dienen, sich über die Kursinhalte hinweg mit der Thematik Mikrogravitation und Raketentechnik zu befassen. Auch sollte durch diese abwechslungsreichen Einschnitte in den Akademiealltag neue Energie für die weitere Kursarbeit geschöpft werden.

Während am 27. August für alle anderen Kurse das normale Programm begann, war es für unseren Kurs ein ganz besonderer Tag: Etwa 300 km Anreise hinter sich, erreichten Herr Schüttler und Herr Rackl den Eckenberg noch in den Morgenstunden. Sie begannen damit, uns von ihrem Job allgemein und der Mikrogravitation in Raketen auf dem Gebiet der professionellen Forschung im besonderen zu referieren. Dazu gehörte natürlich auch der physikalisch-theoretische Einstieg in die Thematik. Da wir nicht mehr fachfremd waren, gestaltete sich dies als intensiver Dialog. Auf der Leinwand verfolgten wir gespannt den Abschuss einer Höhenforschungsrakete und das Verhalten von Fischen in Schwerelosigkeit.

Immer wieder zeigte sich, wie gut dieses Thema zu unserem Projekt passte. Wir bekamen sogar Tipps, wie wir unsere Fallkapsel verbessern könnten. Auch die sich anschließende Fragerunde war sehr lebhaft und wir nutzten die Gelegenheit, "waschechten" Physikern Fragen zu stellen.

#### three - two - one - zero - and lift off

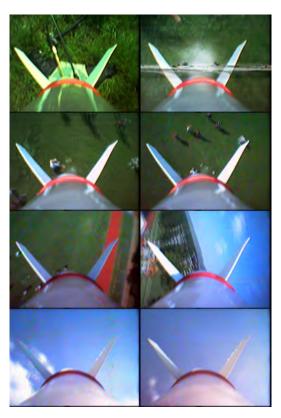
Erfüllt von so viel neuem Wissen freuten wir uns auf den praktischen Teil - den Abschuss

von Wasserraketen auf der Wiese vor dem LSZU-Gebäude.



Hr. Rackl erklärt das Prinzip der Wasserrakete

So gingen wir nach draußen und bauten alles auf: Abschussvorrichtung, Luftpumpe, Auslöser und natürlich die Raketen selbst. Zwei Raketen hatten Herr Schüttler und Herr Rackl im Gepäck: Die erste bestand aus einfachen PET-Flaschen und besaß eine kleine Außenkamera, so dass wir "mitfliegen" konnten. Sie machte sich gut und wir konnten einige Abschüsse mit ihr durchführen.



Bildersequenz der Außenkamera einer Rakete

Die zweite war aus Holz gefertigt sowie mit einem Fallschirm ausgerüstet. Mit einer Innenkamera war sie für Mikrogravitationsexperimente vorbereitet. Mit der Libelle einer Wasserwaage und Keramikmagneten als Experimenten sollte sie abgeschossen werden.



Hr. Schüttler mit der von ihm gebauten Zero-g-Rakete

Nachdem uns die Abschussvorrichtung erklärt worden war, wurde die zu einem Drittel mit Wasser gefüllten Tanks bis zu einem Druck von sieben bar mit Luft aufgepumpt. Countdown, auslösen - und ab! Mit lautem Zischen schoss sie weit nach oben, doch unglücklicherweise löste der Fallschirm nicht aus und sie prallte ungebremst wieder auf den Boden. So konnte sie kein zweites Mal eingesetzt werden. Allerdings war die Phase der Schwerelosigkeit ohne den entfalteten Fallschirm besonders lang und das entstandene Video zeigte umso besser, was in Mikrogravitation geschehen war: Die Luftblase in der Libelle hatte sich zu einer kreisrunden Kugel geformt!

#### Kein Experiment ohne Auswertung!

Die Auswertung und Analyse der Videos erwies sich ebenfalls als spannend und sehr interessant. Wir fanden heraus, dass die Raketen bei einer Abschussgeschwindigkeit von etwa 200  $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$  bis zu 70 m hoch geflogen waren. Gemeinsam beschrieben wir zudem die beobachteten Versuchsabläufe und versuchten sie zu erklären.

Auch für den technischen Defekt seiner Rakete fand Hr. Schüttler eine Erklärung: Ein Gummi, mit dem der Fallschirm ausgelöst werden sollte, hatte sich verhakt und die Tür des Fallschirms öffnete sich deshalb nicht. Doch der Forscher nahm den Absturz sportlich und überlegte sich Verbesserungen für die nächste Rakete. Vor allem das lange Video von der Libelle versöhnte ihn.

So neigte sich ein abwechslungsreicher, interessanter und auch ergiebiger Tag seinem Ende zu und die beiden Physiker fuhren zwar mit einer beschädigten Rakete, aber hoffentlich auch mit schönen Eindrücken nach Hause. Für uns war dieser besondere Tag voller Erlebnisse und wir fanden darin viel Motivation für die weitere Arbeit an unserem Projekt.

# DLR School\_Lab Lampoldshausen

OLIVER BOCK, LUKAS RÜCKLE, NICOLÁS CANDIA

Montag, 1. September 2008:

Ein Blick auf den Tagesplan - Kursspezifische Exkursion, in unserem Fall zum School\_Lab des DLR in Lampoldshausen. Wir waren natürlich alle schon sehr gespannt, was uns dort wohl erwarten würde.

Nach ungefähr einer halben Stunde Fahrzeit kamen wir schließlich auf dem mitten im Wald gelegenen Parkplatz des DLR in Lampoldshausen an. Überall um das Eingangstor herum war ein ungefähr zwei Meter hoher Metallzaun mit einer Natostacheldrahtrolle, der dafür sorgte, dass keine ungebetenen Gäste in das Gebiet des DLR eindringen konnten. Durch ein "Umhängeschild" erlangten wir die

Befugnis, das Gebiet des DLR und so auch das School\_Lab zu betreten.

Das School Lab ermöglicht Schülern anhand von verschiedenen physikalischen Versuchsaufbauten, Einblicke in die Theorie und Praxis des Raketenbaus zu bekommen. Um Raketenphysik verstehen zu können mussten wir jedoch zuerst einiges über Impulserhaltung lernen. Einer von uns setzte sich dazu mit einem schweren Stoffsack auf einen Rollwagen und stieß dann den Sack mit aller Kraft von sich. Da actio gleich reactio gilt, fuhr der Wagen entgegen der Wurfrichtung los. Dieses Prinzip wird auch zum Raketenantrieb verwendet.

Mit weiteren theoretischen Grundlagen, wie zum Beispiel der Raketengleichung von Ziolkowsky konnten wir errechnen, wie das optimale Verhältnis von Wasser und Luft beim Antrieb einer Wasserrakete aussah. Wie sich später herausstellte war dies für den Nachmittag von großer Bedeutung. Große Raketen wie z.B. die Ariane 5 benutzen eine Stufenzündung, um bei gleicher Kraftstoffmenge noch höher steigen zu können. Wir simulierten dieses Prinzip anhand eines einfachen Versuchs.



Auf einer geraden Strecke aus Modelleisenbahnschienen, auf der zwei Wagen mit ferngesteuertem Druckluftantrieb standen, wurde getestet, bei welcher Zündungsart der vordere Wagen am weitesten fuhr. Nach vielen Versuchen erkannten wir, dass die Zündung nacheinander stattfinden muss, um am effizientesten die Druckluft, oder in Realität den Treibstoff, nutzen zu können.

Schließlich stand die Mittagspause an. Das Essen war eine richtig gute Stärkung nach dem anstrengenden Vormittag. Nach der Kräftigung

und Reanimierung der Gehirnzellen ging es dann wieder in Gruppen an die Arbeit: Die eine befasste sich mit dem Bau einer Wasserrakete und die andere mit Versuchen im Vakuum.

#### Versuche im Vakuum

Ein netter Physiker im Ruhestand namens Herr Dr. Seeck nahm sich extra Zeit, um mit uns Experimente im Vakuum durchzuführen. Gemeinsam machten wir uns Gedanken darüber, was Vakuum eigentlich bedeutet und welche extremen Bedingungen dort herrschen.



Anschließend führten wir uns mit zahlreichen Versuchen vor Augen, welche Auswirkungen diese Bedingungen auf verschiedene Körper haben. Dazu standen uns eine leistungsstarke Vakuumpumpe, mit der wir zwei Glasglocken evakuieren konnten, ein Thermometer, ein Barometer und eine spezielle Computersoftware zur genaueren Aufzeichnung von Messdaten zur Verfügung.

Zuerst überprüften wir die Dinge, die wir davor in der Theorie gehört hatten:

- · Im Vakuum ist es sehr kalt.
- · Es wird kein Schall übertragen, da ein Medium fehlt.
- Wenn der Druck sinkt, verdampft Wasser anfangs. Das liegt daran, dass der umgebende Gasdruck sinkt. Wenn der Druck weiter sinkt und die Temperatur den Minusbereich erreicht, gefriert es.
- · Wenn man im Vakuum eine Lampe einschaltet, dann ist die Temperatur auf der beleuchteten Seite sehr hoch, im Schatten sehr niedrig; allerdings noch extremer als in der normalen Umgebung.



Eigelb und Eiweiß werfen im Vakuum Blasen, die nach wenigen Minuten gefrieren.

Anschließend untersuchten wir den Einfluss des Vakuums auf Lebensmittel und andere Produkte: Produkten aus offenporigen Materialien, d. h. Materialien, durch die Luft entweichen kann, macht das Vakuum nichts aus. Ein Beispiel dafür ist ein Stofftier. Mohrenköpfe jedoch blähen sich auf. Wenn man jedoch die Luft wieder in die Glasglocke lässt, schrumpfen sie. Das liegt daran, dass die Luftblasen im Eiweißschaum in einem Vakuum entweichen wollen - der Mohrenkopf wird größer.

Nicht mehr ganz frisches Obst und Gemüse sah im Vakuum wieder frisch aus, da wieder Luftblasen, die entweichen wollen, das Obst oder Gemüse größer werden lassen und so die Oberfläche straffen. Unter Normaldruck verschrumpeln die Lebensmittel allerdings wieder. Auch Marshmallows und andere Soft-Gums werden im Vakuum größer.

#### Bau einer Wasserrakete

Die Raketengruppe begann damit, sich eine grobe Vorstellung des Aussehens der Rakete und der wichtigen Elemente beim Bau zu verschaffen, um am Ende eine möglichst gute Rakete abliefern zu können. Zwei PET-Flaschen bildeten Rumpf und Antriebsstufe der Rakete. Als Spitze fungierte ein Oberteil einer PET-Flasche und sogenannte Fins sorgten für eine stabile Fluglage (für Interessierte gibt es auf der Homepage des School\_Labs eine ausführliche Bauanleitung).

Dieser grundsätzliche Aufbau ließ zahlreiche Variationsmöglichkeiten zu, welche Flughöhe und Flugeigenschaften beeinflussten. So ver-

suchte jedes der drei Raketenbauerteams die "perfekte" Rakete zu bauen. Der Antrieb der Wasserrakete basiert auf dem Rückstoßprinzip: Eine definierte Menge Wasser wird mit Druckluft in die Abtriebsstufe gepumpt und das ganze mithilfe einer Abschussvorrichtung in Position gebracht. Dann wird ganz bequem in sicherer Entfernung die Rakete vermittels eines Drahtseils abgeschossen.



Startvorbereitungen

Als endlich die ersten Raketen fertig gestellt waren, war die Spannung natürlich groß: Wird die Rakete überhaupt fliegen? Wie viel Druck halten die PET-Flaschen aus? Wie hoch wird sie fliegen? Wo wird sie herunterkommen? Wird sie die Landung heil überstehen? Es gab nur eine Möglichkeit, die Fragen zu beantworten: 3-2-1-Abschuss!

Unter lautem Gezische schossen unsere Raketen in den Himmel. Manche flogen so hoch, dass wir sie nicht mehr finden konnten, da sie zu weit abgedriftet waren. So nutzten zwei Raketen das Dach des School\_Labs als Landeplatz. Eine Rakete verfehlte ein Auto nur um Haaresbreite. Doch nicht nur die Flughöhe, sondern auch die Fluglage variierte stark: Einige drehten sich sehr schnell, wodurch sie stabil in der Luft lagen, andere jedoch drehten

sich gar nicht, was ein witziges Flugverhalten zur Folge hatte. Insgesamt war es ein riesiger Spaß zu sehen, wie unterschiedlich die Raketen flogen - oder einfach auf dem Boden blieben.

#### Rundgang

Nachdem wir einige Modellexperimente durchgeführt hatten, um die großen Raketen zu verstehen, war es nun an der Zeit, sich einmal die Experimente der Profis anzuschauen.



#### Die Ariane 5

Wir haben es fast nicht geglaubt, aber im DLR Lampoldshausen, mitten im Odenwald, testen die Mitarbeiter des DLR Raketentriebwerke, allen voran das Vulcaintriebwerk der Ariane 5, der größten europäischen Trägerrakete.

Sie wird am Prüfstand P5 auf Herz und Nieren untersucht. Zwar schauten wir uns zuvor in einem einführenden Film einen Triebswerkstest an, doch als wir vor dem 70 Meter hohen Turm standen, wurden wir nochmals von ihm überwältigt. In ihm befinden sich ein großer Wasserstoff- und Sauerstofftank, eine Kühlwasservorrichtung, eine Menge Kabel für Messungen und beim Test natürlich auch das Vulcaintriebwerk. Ein Test würde ungefähr so ablaufen:

3-2-1-Das Triebwerk wird gezündet. Jetzt fließen 2000 Liter Kühlwasser, 39 Kilogramm Wasserstoff und unglaubliche 311 Kilogramm Sauerstoff pro Sekunde. Der Betonturm muss nun die geballte Kraft von 4 Millionen PS bzw. knapp 600 Tonnen Schubkraft auf dem Boden halten. Ein riesiges Leitungssystem befördert das gesamte verdampfte Wasser in den Himmel, das als gigantische Wolke die Son-

ne in Lampoldshausen verdunkelt. Nach ca. 1000 Sekunden wird das Triebwerk wieder abgeschaltet. Es hat 39 Tonnen Wasserstoff und 311 Tonnen Sauerstoff verschlungen, 2 Millionen Liter Kühlwasser verdampft und währenddessen eine unvorstellbare Kraft entwickelt.

#### Das Gelände

Das Gelände des DLR in Lampoldshausen umfasst über 25 Gebäude. Darunter befinden sich unter anderem verschiedene Prüfstände und Forschungsabteilungen. (Es gibt eine ganz einfache Erklärung für das Fehlen von Bildern in diesem Bericht: Es herrschte Fotografierverbot, um Industriespionage zu verhindern.)

Immer noch beeindruckt von den Dimensionen des Arianetriebwerks erkundeten wir das Gelände. Den Wasserstoff und den Sauerstoff für das Vulcaintriebwerk sahen wir zwar nicht, aber die riesigen Tanks, in denen der Wasserstoff bei 20 K also -253 °C im flüssigen Zustand aufbewahrt wird, waren nicht zu übersehen. Hierzu erfuhren wir, dass eigens für den Wasserstoffbedarf der Ariane eine Fabrik in Frankreich gebaut wurde, denn woher sonst soll man solche Mengen an Wasserstoff Test beziehen?

An Bürogebäuden vorbei, erreichten wir einen kleineren Prüfstand. Dort wurde ein Gel auf seine Tauglichkeit als Raketenkraftstoff getestet. Gele haben gegenüber Feststoffen oder Flüssigkeiten den Vorteil der besseren Handhabung. Hierbei handelte es sich zwar "nur" um Miniaturtriebwerke, aber auch diese entfalten eine ungeheure Kraft, so dass zu jedem auch noch so kleinen Triebwerkstest die werkseigene Feuerwehr zur Absicherung anrücken muss. Wir erhielten auch einen kleinen Eindruck, wie kompliziert diese Angelegenheit ist, denn es waren scheinbar unendlich viele Kabel zu sehen, die dazu dienen, allerlei Messungen durchzuführen.

Als letztes stand die größte und stärkste Vakuumpumpe der Welt auf dem Plan. Die sich am Prüfstand P4 befindet. Dort wird Höhensimulation durchgeführt, das heißt, dass untersucht wird, wie sich Triebwerke in großen Höhen also bei sehr dünner Luft oder gar im Vakuum verhalten, um sie auf Weltraumverhältnisse vorzubereiten. Die Aufgabe der Vakuum-

pumpe ist es, den Testraum mit einem Volumen von 512 m³ zu evakuieren. Die Schwierigkeit bei dieser Aufgabe besteht darin, die Abgase, welche das Triebwerk produziert, in dem Moment ihres Entstehens abzutransportieren, um das Vakuum auch während der Brennphase aufrecht zu erhalten. Für die Bewältigung einer solchen Aufgabe benötigt die Pumpe eine enorme Leistung von ca. 3 Gigawatt!

Nach unserer letzten Etappe war es nun an der Zeit Abschied zu nehmen und nach Adelsheim zurückzukehren. Während der Autofahrt war die Erschöpfung allen anzusehen und wir begannen all die Eindrücke, die wir den Tag über gesammelt hatten, zu verarbeiten.