

Mikrogravitation mit Raketen



Wir ...

Wir, der Mikrogravitationskurs, das sind 11 Teilnehmer plus zwei Leiter plus ein Schülermentor. Wenn wir alle zusammen vom Dach springen würden, kämen wir alle gleichzeitig am Boden an – zumindest, wenn man den Luftwiderstand nicht beachtet. Aber auch sonst haben wir so einiges gemeinsam. Uns verbindet der Spaß am Tüfteln und an der Physik sowie das Interesse an Raketen.

Auch in unseren Freizeitaktivitäten fanden sich viele Gemeinsamkeiten. Unsere sportlichen Fähigkeiten halfen uns, das Sportfest zu gewinnen, und auch die Musik verbindet uns. Während der Akademiezeit entwickelte sich ein Teamgeist, der uns noch mehr zusammenschweißte. Jeder von uns hatte diesen Kurs als Erstwahl, und keiner hat das bereut.

... en detail ...

Andreas war unser Kameraspezialist und trug somit viel dazu bei, dass wir bei der Abschlusspräsentation gute Filme präsentieren konnten. Falls das gesamte Team einmal mit einem Problem dastand, war oft nur eine einfache Frage an den genialen Andreas vonnöten, der das Problem, an dem sich alle den halben Tag lang die Zähne ausgebissen hatten, dann in Sekunden einfach und praktisch zu lösen wusste. Ansonsten half er auch tatkräftig bei der Entwicklung des Antriebsmoduls und war mit großer Begeisterung bei den Tests dabei.

Annika war immer, wirklich immer gut gelaunt und hatte noch bis tief in die Nacht gute Ideen für ihre Experimente. Zudem war

Annika die Rettung unseres Kurses, da sie sich rechtzeitig um die Leitergeschenke kümmerte. Als Dank wurde ihr die Erkenntnis geschenkt, dass ein Trichter ein Loch hat. Mit Lili und Tobias gehörte sie zu den Geigern, die bei ihren Auftritten für Begeisterung sorgten – typisch Mikro!

Christina oder besser Christiane, denn sie hat in den zwei Wochen einen neuen Namen bekommen. Sie war auch immer Ansprechpartnerin für den Fallschirm und erklärte immer wieder mit Begeisterung, wie der Gummi „wegfatz“. Außerhalb des Kurses engagierte sie sich in der Theater-KüA und bot am Abschlussabend eine tolle Vorstellung.

Denis hielt uns oft mit seinen Späßen auf Trab. Der größte Schreckensmoment war jedoch, als er sich beim Spielen mit einer Schere fast den Finger absäbelte. Er war immer mit vollem Einsatz dabei und half tatkräftig beim Antriebsmodul und bei der Außenhaut mit. Bei unserer phänomenalen Raketenabschussshow war Denis der Mann an der Luftpumpe bei unserer Aquariane Alpha – und das trotz eines Fingerverbandes.

Lilian sorgte während der Akademie mit ihrem musikalischen Talent für Begeisterung. Und als Flight Commander des dritten Starts war sie die Verantwortliche für einen sicheren Flug unserer Aquariane 680. Auch diese Aufgabe löste sie mit Bravour. Sie ist auch ein fröhlicher Typ, sodass es in unserem Kurs immer etwas zum Lachen gab. Bei der Entwicklung und Fertigung des Experimentiermoduls half sie auch tatkräftig mit und trug so viel dazu bei, dass wir so tolle Filme hatten.

Lynton faszinierte uns mit seinen selbst gemachten Zeichentrickfilmen. Mit seinem Actionfilm *ULTIMATE ANNIHILATOR* gewann er den verdienten zweiten Platz des Talentwettbewerbs beim Bergfest. Er sorgte mit seinen humorvollen Bemerkungen auch in angespannten Situationen für gute Laune (*Balsaholz ist von der Ur-*

waldrodung her gesehen ja nicht so korrekt.) Er fertigte die Hauptskizze unserer Raketen an und half damit uns allen, nicht den Überblick zu verlieren.

Maria war ein unverzichtbarer Bestandteil der Experimentiergruppe und des gesamten Kurses. Sie trug mit einer unfassbaren Sackhüpfen-Rekordzeit beim Sportfest erheblich zu unserem Sieg bei. Sie betrachtete die Dinge oft aus anderen Perspektiven und fand auf diese Weise Fehler oder Mängel, die andere Kursteilnehmer übersehen hatten. Die gesamten zwei Wochen hindurch war sie unglaublich motiviert und erschien schon sehr früh im Kursraum, sodass am Ende keine Zeit mehr für ihre Nach(t)isch-KüA blieb.

Robin übernahm als unser Computerspezialist die Rolle des CapCom (Capsule Communicator) und wusste immer genau über die Videoaufnahmen Bescheid. Auch beim Bau der Rakete war er sehr engagiert und mit Herz und Seele dabei. Er half zuverlässig überall dort, wo er gebraucht wurde, ohne sich dabei in den Vordergrund zu drängen. Als es galt, das Sportfest zu gewinnen, war er eine große Stütze. Außerhalb des Kurses war er oft im Sportbereich zu finden, falls er nicht an der Mathe-KüA teilnahm.

Sandra war unsere größte Hoffnungsträgerin beim Sportfest. Sie war – wenn sie denn nicht zu spät kam – während der Kursstunden meistens in der Fallschirmgruppe anzutreffen. Dort half sie tatkräftig mit reichlich guter Laune und guten Ideen, wenn sie sich nicht von gewissen anderen Teilnehmern ablenken ließ, oder ihr Dutzende von leeren Cola-Mix-Flaschen nicht den Blick versperren.

Steffen war sehr sportlich. In seiner Freizeit baut er Flugzeugmodelle, was ihm natürlich bei der Arbeit mit dem Balsaholz sehr zugute kam und so dem ganzen Team half. Auch beim Sportfest trug er viel zum Sieg bei. Außerhalb der Kurszeit spielte er oft Volleyball, was er auch in Markdorf im Verein spielt. Als Flight Commander der Aquariane Sky-Eye stell-

te er zusammen mit seinem Team einen neuen Höhenrekord auf und verschaffte uns ein geniales Video. Steffen war auch immer für einen Spaß gut.

Tobias begeisterte uns mit seinem schönen Geigenspiel. Da er das Hector-Seminar besucht, kannte er schon unsere Kursleiter. Er brachte viel Fachkompetenz mit in die Rakete ein. Auch beim Sportfest überzeugte er mit einer guten Gummistiefelweitwurf-Weite und trug zu unserem Gesamtsieg bei. Seine Computerkenntnisse waren maßgeblich für die ansprechende Gestaltung unserer Abschlusspräsentation verantwortlich.

Lukas war unser Schülermentor. Er war sehr engagiert und unterstützte uns, wo es ging. Dabei übernahm er oft den Job des Photographen, um unsere Erlebnisse zu dokumentieren. Auch als Arzt wies er gewisse Fertigkeiten auf, als er den Finger von Denis verbinden musste. Ansonsten konnte er uns auch bei vielen anderen Fragen helfen. Als er dann am letzten Tag Geburtstag hatte, feierten wir das natürlich gebührend.

Jörg hatte stets einen Sinn für Humor und stürzte uns oft mit seinen ironischen Bemerkungen und Fragen in große Verwirrung. Er steckte uns mit seiner Begeisterung für die Physik an und trieb uns somit zu Höchstleistungen. Auch am Bergfest stellte er wieder seinen Humor unter Beweis, indem er die typischen Fehler, die bei Präsentationen gemacht werden, zusammen mit Georg in einer Aka-akademie-demie-Präsentation durch den Kakao zog.

Georg wusste immer, wo es langgeht. Er hat uns immer mit großem Elan unterstützt, leider aber manchmal auch, indem er uns das Wort im Mund herumdrehte. Auch sonst machte er es uns nicht leicht: So mussten wir beim Sportfest seinen Bus mit ihm am Steuer den Berg hochziehen. Ansonsten half er uns sehr viel und war immer zur Stelle, wenn es ein Problem gab. Man darf sich freuen, dass er der nächste Akademieleiter werden wird.

Unser Kursziel und die Umsetzung

ROBIN HUTMACHER,
ANDREAS WALDVOGEL

Ziel unseres Kurses war der Bau einer wiederverwendbaren Rakete, in der wir Experimente in Schwerelosigkeit durchführen konnten. Um eine lange Experimentierzeit zu erreichen, sollte unsere Rakete möglichst hoch fliegen. Das erforderte zunächst einen starken Antrieb und ein möglichst geringes Gewicht sowie einen stabilen Flug. Für die Experimente, die in der Rakete mit einer Kamera aufgenommen werden sollten, stand nur wenig Platz zur Verfügung. Beim Bearbeiten sämtlicher Ziele musste natürlich immer auf den Zeitplan geachtet werden, und auch eine übermäßige Geldverschwendung war nicht vorgesehen.

Die Arbeit im Kurs gliederte sich in drei Bereiche. Im Vorfeld der Sommerakademie bereitete jeder Kursteilnehmer ein Referat zu verschiedenen Themen aus dem Gebiet der Raumfahrt vor. Um die physikalischen Grundlagen der Mikrogravitation zu verstehen und einen Einstieg in die Raketenphysik zu bekommen, bestand ein weiterer Teil unserer Kursarbeit aus Theorie-Einheiten. Die meiste Zeit verbrachten wir mit der Planung und Umsetzung unseres Raketenprojekts.

Wir hörten täglich ein bis zwei Referate unserer Kursmitglieder, die unser Wissen über die Pioniere der Raumfahrt, Raketentypen, Satelliten, das amerikanische Apollo-Programm und die russische Raumfahrt erweiterten. In Verbindung damit lernten wir, auf unsere Wortwahl zu achten und einen originellen Einstieg zu wählen. Lyntons Fechtversuche werden uns nie vergessen lassen, auf unsere Gestik zu achten. Auch umgangssprachliche Füllwörter wie „eben“ oder „relativ“ sollten eigentlich relativ vermieden werden. Dies erfuhr auch die ganze Akademie durch einen Vortrag unserer Kursleiter beim Bergfest, als sie nur die Wörter „Aka“, „Demie“, „eigentlich“ und „relativ“ benutzten. Des Weiteren ist eine Quellenangabe, bei Internetseiten sogar mit exakter Uhrzeit, unabdingbar.

Bei vielen Vorträgen waren die Anfänge zu

verbessern (à la: „Ich mache heute meinen Vortrag über ...“). Insgesamt wurden wir durch die Referate sowie die Vorträge bei der Rotation und der Abschlusspräsentation in diesem Thema geübt und konnten auch viel Wissen mitnehmen.

Um unsere Rakete und die Physik dahinter auch verstehen zu können, waren in den ersten Tagen Theoriestunden nötig. Unser Thema war die Kinematik, auch Bewegungslehre genannt, in deren Rahmen wir auch den freien Fall bearbeiteten.



So erfuhren wir auch, dass im freien Fall Mikrogravitation herrscht. Des weiteren lernten wir zu verstehen, was Galilei schon vor langer Zeit erkannt hatte. Dieser stellte fest, dass alle Gegenstände, egal welche Masse sie haben, gleich schnell fallen, wenn man vom Luftwiderstand absieht. Dazu machten wir einen Versuch, bei dem wir einen Stahl- und eine Papierkugel fallen ließen und diese exakt gleich schnell fielen. Um herauszufinden, dass sich Körper im freien Fall gleichmäßig beschleunigten, banden wir Muttern an eine Schnur, die dann beim Fallenlassen in gleich großen Intervallen auf dem Boden aufkommen sollten.

Mit solchen und anderen Aufgaben wurde uns der Stoff anschaulich von unseren Kursleitern vermittelt. Für Spannung sorgte auch die Aufgabe, ein Papier unter einem 2-Eurostück wegzuziehen, ohne dass dieses umfiel. Derjenige, der es schaffte, durfte es behalten. Dies schaffte aber auch noch gefühlte Stunden später niemand, außer unserem Kursleiter Jörg, der bestimmt heimlich geübt hatte.

Mit dem entsprechenden Vorwissen machten wir uns an die konkrete Realisation unserer



Rakete. Früh war klar dass, wir sie in Module aufteilen wollten. Dies erforderte eine Aufteilung in effizient arbeitende Gruppen.

Denis, Lynton, Robin und Steffen beschäftigten sich mit dem Antrieb sowie der Konstruktion der Raketenaußenhaut. Christina, Sandra und Tobias entwickelten ein Rettungssystem mit Fallschirmen. Die Experimente waren das Thema von Annika, Lilian, Maria und Andreas. Datenübertragung und Auswertung wurden auf später verschoben, da sie zu dem Zeitpunkt noch nicht nötig waren.

Wir lernten schnell, dass die Absprache unter den Teams von großer Bedeutung war, damit jeder über die Arbeit der Anderen Bescheid wusste und zum Schluss alles zusammen passte.

Beim Anfertigen von ersten bemaßten Zeichnungen und exakten Materiallisten war konzentriertes und effizientes Arbeiten gefordert. Nachdem erste Ideen zustande gekommen waren, hatten wir für deren Umsetzung einen großen Werkraum mit allem, was wir brauchten, zur Verfügung. Bei der Arbeit darin erlernten wir auch viele handwerkliche Tätigkeiten wie



die Verarbeitung verschiedener Materialien und den Umgang mit den Maschinen. Denis zum Beispiel lernte den Umgang mit Scheren. Dies leider erst nach seinem Unfall.



Gegen Ende der Akademie wurde der Druck, eine Rakete, die für unsere Forschungszwecke geeignet ist, fertig zu stellen, immer größer, und so wurde immer härter gearbeitet und auch die abendliche Freizeit des Öfteren für Kurszwecke geopfert. Schließlich war unsere erste Forschungsrakete fertig, die Aquariane 1.1.

Da diese nicht so flog, wie wir es uns vorgestellt hatten, lernten wir, mit Rückschlägen umzugehen und aus Fehlern zu lernen. Beim Bau unserer zweiten Rakete mussten wir aufgrund der geringen Zeit unter großem Druck arbeiten, was im Nachhinein betrachtet auch eine Bereicherung darstellte.

Unsere neue Rakete, die Aquariane 680, hatte aufgrund ihres minimierten Gewichtes im Vergleich zur ersten Rakete eine längere Flugzeit, was die Durchführung von Experimenten ermöglichte. Die Videos dieser Experimente analysierten wir mit einem Computer, wodurch

wir unsere Kenntnisse über die Arbeit mit Videobearbeitungsprogrammen vertieften.

Selbstständigkeit war ein fester Bestandteil unserer Kursarbeit. Die Kursleiter standen uns mit ihrem Fachwissen und Tatkraft zur Seite und halfen uns mit Tipps beim Bau. Zwar hatten wir am Anfang Schwierigkeiten mit der Absprache, doch wir lernten und arbeiteten zum Schluss Hand in Hand. Auf diese Weise entwickelte unsere Gruppe einen solchen Ehrgeiz, dass in den letzten Tagen nur die Bettruhe und die Notwendigkeit der Anwesenheit einer Aufsichtsperson verhinderten, dass wir Tag und Nacht an unserer Rakete arbeiteten.

Die Krönung unserer zweiwöchigen Arbeit war die Vorstellung der Kursarbeit am letzten Tag. Wir sperrten den Sportplatz ab, besorgten uns Helme und ein Megaphon und begannen um exakt 18:17:30 Uhr mit der Demonstration einiger unserer Raketen. Um dem Publikum, bestehend aus Akademieteilnehmern, Familien und Kursleitern, die Entwicklung unserer Rakete zu zeigen, starteten wir zuerst eine normale Plastikflasche, welche sich noch wild drehte und kaum Höhe erreichte.

Anschließend zeigten wir ihnen einen schönen Flug unserer Aquariane Sky-Eye, bevor wir zum absoluten Höhepunkt kamen: Wir schossen vor dem begeisterten Publikum unser aller Stolz, die Aquariane 680 zu einem hohen und spektakulären Flug in den Himmel. Nachdem sie sicher von den Fallschirmen abgebremst worden war, applaudierte das Publikum voller Begeisterung, und wir waren alle sehr zufrieden mit unserem Werk.

Schwerelos?

DENIS WIECHERT, STEFFEN WINKLER

Was passiert, wenn es kein Oben und Unten mehr gibt? Um genau diese Frage zu untersuchen, hatten wir uns für diesen Kurs entschieden. Auf der Erde ist Oben und Unten immer klar definiert. Die Schwerkraft hält uns zudem davon ab, über 5 Meter hoch zu springen. Ohne Schwerkraft wäre dies kein Problem. Auch viele tägliche Aktivitäten wären ohne Schwerkraft nicht möglich. Wie könnte sich zum Beispiel ein Auto fortbewegen, wenn es sich nicht mehr auf

dem Boden befindet? Was macht eine Pflanze, wenn sie nicht mehr weiß, wo Oben und Unten ist? Was passiert mit der Luftblase in einer Wasserwaage, die ansonsten immer oben schwebt?

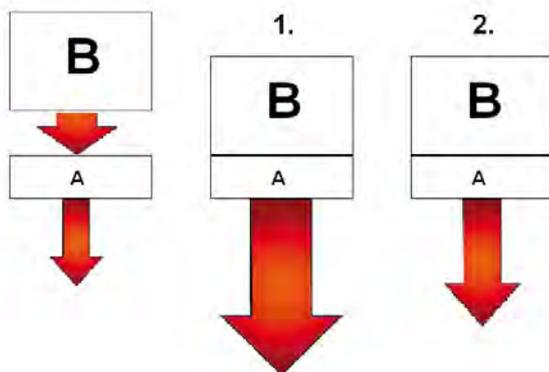
Doch was ist Mikrogravitation überhaupt?

Hier auf der Erde sagt uns die Schwerkraft, wo Oben und Unten ist. Sie zieht uns Richtung Boden. Dieser übt eine Gegenkraft aus, sodass wir nicht immer weiter in Richtung Erdkern gezogen werden. Diese Kraft spüren wir an unseren Füßen, und somit wissen wir, wo Unten ist. Wenn sich der Boden aber gleichschnell mit uns nach unten bewegen würde, dann würde auch der Druck auf unsere Füße aufhören, und wir könnten kein Unten mehr fühlen. Somit hätte Oben und Unten keine Bedeutung mehr. Es herrscht Schwerelosigkeit. Da die Gravitation aber auch – wenn auch sehr schwach – zwischen den Objekten eines Experiments wie auch den Wänden wirkt, spricht man besser von Mikrogravitation.

Körper im freien Fall

Wir hatten einige Experimente durchgeführt, bei denen wir Metall- und Papierkugeln, die gleich groß, aber nicht gleich schwer waren, fallen gelassen haben.

Das hatte sich bereits Galileo Galilei überlegt. Bis dahin galt die Annahme, dass Körper mit mehr Masse auch schneller fallen. In einem seiner Gedankenexperimente überlegte er sich, dass man zwei unterschiedlich schwere Körper übereinander fallen lassen sollte.



Für den Ausgang des Experiments gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste ist, dass der schwerere Körper von oben den leichteren Körper unten einholt und sich dann mit ihm zu einem noch schwereren Körper verbindet. Der zusammengesetzte Körper müsste dann noch schneller fallen, da dieser mehr Masse besitzt.

Die zweite Möglichkeit ist, dass der untere, leichtere, langsamere Körper den oberen, schwereren, schnelleren Körper bremst. Dann würde der zusammengesetzte Körper langsamer zu Boden fallen als der Schwerere alleine.

Beide Varianten sind unter der Annahme, dass massereichere Körper schneller fallen, möglich, stehen aber zueinander im Widerspruch. Folglich muss diese Annahme falsch sein, und alle Körper müssen gleich schnell fallen. Zumindest, wenn man vom Luftwiderstand absieht.

Mikrogravitationsexperimente ...

... in einem Fallturm

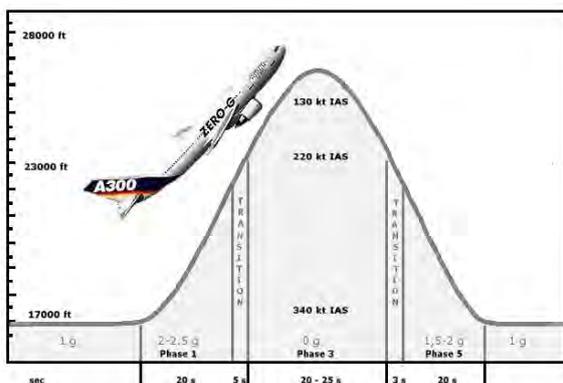


Fallturm in Bremen (Quelle: DLR)

Der Fallturm in Bremen hat eine 123 Meter hohe Fallröhre. Diese kann evakuiert werden, um den Luftwiderstand auszuschalten. Wenn das Experiment von oben fallen gelassen wird, erreicht man eine Fallzeit von ca. 5 Sekunden. Um diese Zeit zu verlängern, kann man das Experiment mit einer Schleuder vom Boden bis ganz nach oben katapultieren. Auf diese Weise erreicht man eine Mikrogravitationszeit von ca. 10 Sekunden. Denn sobald das Objekt die Schleuder verlässt, ist die einzige wirkende Kraft die Gewichtskraft, und diese ist, da sie auf alle Teile der Rakete gleich wirkt, wieder nicht spürbar.

... beim Parabelflug

Der Parabelflug ist ein spezielles Flugmanöver, bei dem das Flugzeug eine Parabel fliegt. Dazu gibt der Pilot zuerst Vollgas und zieht das Flugzeug nach oben. Danach werden die Triebwerke soweit heruntergefahren, dass sie nur noch die Luftreibung ausgleichen. Auf diese Weise erreicht man eine Mikrogravitationszeit von ungefähr 25 Sekunden. Anschließend werden dann die Triebwerke wieder hochgefahren, und das Flugzeug wird wieder in die Waagrechte gezogen. Dieser Vorgang wird bei einem Flug ungefähr 25-mal wiederholt.



Schema der verschiedenen Phasen bei einem Parabelflug (Quelle: <http://upload.wikimedia.org>)

... in einer Forschungsrakete

Um noch längere Mikrogravitationszeiten zu erreichen, kann man eine Forschungsrakete starten. Eine der stärksten Forschungsraketen ist die Castor 4B-Höhenforschungsrakete, die einen

Durchmesser von 1,02 Meter hat und 9,20 Meter lang ist. Mit ihrem Startschub von 450 kN kann sie bis zu 720 kg Nutzlast auf eine Maximalhöhe von 850 km bringen. Zum Vergleich: Die ISS kreist in einer Umlaufbahn auf ca. 350 km Höhe. Mit einer solchen Forschungsrakete kann man bis zu 12 Minuten und 40 Sekunden dauernde Mikrogravitation erreichen. Die Experimentierkapsel kann nach dem Wiedereintritt wiederverwendet werden.



REXUS3-Forschungsrakete auf der Startrampe (Quelle: DLR)

... in einer Raumstation

Da man aber auch in knapp 13 Minuten keine Kristalle züchten oder das Wachstumsverhalten von Pflanzen studieren kann, führt man solche Experimente auf einer Raumstation durch. Eine Raumstation befindet sich im „freien Fall“ um die Erde herum. Da sie über viele Jahre hinweg ununterbrochen in Betrieb bleiben kann, bieten sich hier die besten Bedingungen für langfristige Experimente.



Die internationale Raumstation ISS (Quelle: NASA)

Vorversuche

MARIA REUTER, ANNIKA WIEST

Um unsere Konstruktionspläne zu optimieren und um uns mit der Funktionsweise und dem physikalischen Hintergrund der Raketen auseinanderzusetzen, waren zahlreiche Vorversuche nötig.



Erste Flugversuche

Antrieb

Unser Ziel war es, eine wiederverwendbare Kaltwasserrakete zu bauen. Dazu verwendeten wir eine handelsübliche Cola-Flasche, in der ein hoher Überdruck erzeugt werden konnte, da sie eine sehr stabile Wand besaß. Das Verhältnis zwischen Wasser und Luft musste optimiert werden: Wir ermittelten das Verhältnis von zwei Teilen Luft zu einem Teil Wasser.

Bei zahlreichen Testflügen erprobten wir unsere Startrampe, auf der die Rakete aufgesteckt und ausgelöst werden konnte. Die Cola-Rakete geriet jedoch ins Trudeln und drehte sich im Flug. Zur Stabilisierung des Fluges befestigten wir drei kleine Flügelchen aus foliertem Papier, sogenannte Finnen, an unserem Prototyp. Im Flug drehte sich die Rakete nun durch den höheren Luftwiderstand der Finnen um. Die nächsten Raketen, die wir abschossen, waren gekaufte Plastikwasserraketen mit angebrachten Finnen und befüllbarer Spitze. Ließen wir diese mit leichter Spitze fliegen, so kippte sie schon beim Start. Durch das Gewicht in der Spitze wurde das Trägheitsmoment vergrößert, weil die Masse nun weiter vom Drehpunkt entfernt war. Der Schwerpunkt lag weiter oben, und die Rakete startete gerade und stabil.



Unsere Versuchsraketen für die Vorversuche

Wir hatten dann die Idee, Zuckerwasser an Stelle von Leitungswasser zu verwenden, um den Rückstoß noch weiter zu vergrößern. Unsere Überlegung war dabei, dass unsere Rakete aufgrund der höheren Dichte von Zuckerwasser höher fliegen würde. Nach einigen Testflügen stellten wir fest, dass sich die Flughöhe nicht wesentlich änderte, sondern dass das Zucker-

wasser nur klebrige Rückstände hinterließ. Deshalb verwarfen wir diese Idee wieder.

Maximale Nutzlast

Um die maximale Nutzlast in Erfahrung zu bringen, ließen wir eine Cola-Rakete mit unterschiedlich schweren Steinen an der Spitze fliegen. Maximal ließen sich 600 g zuladen, ohne dass die Flugdauer zu kurz für die Experimente wurde. Das Gewicht musste berücksichtigt werden, was sich auch später beim Bau unserer Aquariane 1.1 als Problem herausstellen sollte.

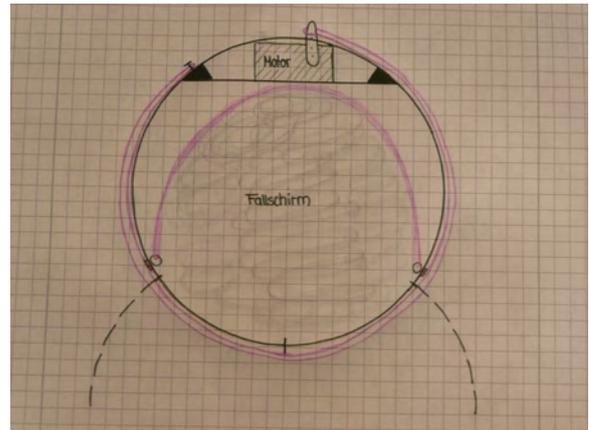


Die maximale Nutzlast muss ermittelt werden

Fallschirm

Wir hatten uns zum Ziel gesetzt, dass unsere Rakete wiederverwendbar sein sollte. Das bedeutete, dass die Rakete durch einen Fallschirm gebremst kontrolliert landen sollte. Zentrale Fragen stellten sich bezüglich des Materials und der Größe des Fallschirms, damit die Rakete rechtzeitig abgebremst wurde. Der Fall-

schirm durfte nicht zu schwer sein und musste im dafür vorgesehenen Fallschirmmodul Platz haben. Letztendlich sollte er zuverlässig ausgelöst werden können und sich im richtigen Moment öffnen. Vom Auslösemechanismus hatten wir mittlerweile schon konkrete Vorstellungen. Deshalb konnten wir genaue technische Zeichnungen anfertigen.



Der Auslösemechanismus funktionierte folgendermaßen: Ein ferngesteuerter Servomotor öffnet eine Tür im Fallschirmmodul der Rakete, sodass die Fallschirme herausgeschleudert werden und sich entfalten. Also führten wir Fallexperimente von der Feuerleiter des LSZU1 durch: Steine, die so schwer waren wie unsere Rakete, wurden mit verschiedenen Fallschirmen fallen gelassen. Einige der Fallschirme waren spezielle Plastikfallschirme, andere selbst gemachte aus Mülltüten.

Nun musste herausgefunden werden, wie sich der Fallschirm am schnellsten öffnete. Dabei erwies sich die Faltung der Fallschirme als sehr kritisch. Nach mehreren Falltests mit einem großen und mehreren kleinen Fallschirmen entschieden wir uns dafür, drei kleine Fallschirme zu verwenden. Zudem würde die Rakete auch sicher landen, falls ein Fallschirm nicht auslösen würde.

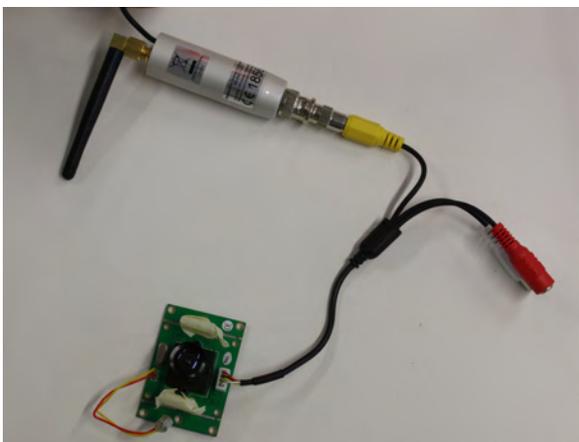
Die Vorüberlegungen zeigten die Notwendigkeit, ein originalgetreues Modell unseres Fallschirmmoduls zu bauen, mit dem wir Fallversuche von der Feuerleiter durchführten. Dabei erwies sich, dass die Schnüre an den Fallschirmen vom Hersteller schlecht angenäht worden waren und schnell rissen und wir sie alle noch einmal nachnähen mussten.



Das Verhältnis von Gewicht zu Fallschirmgröße muss ermittelt werden

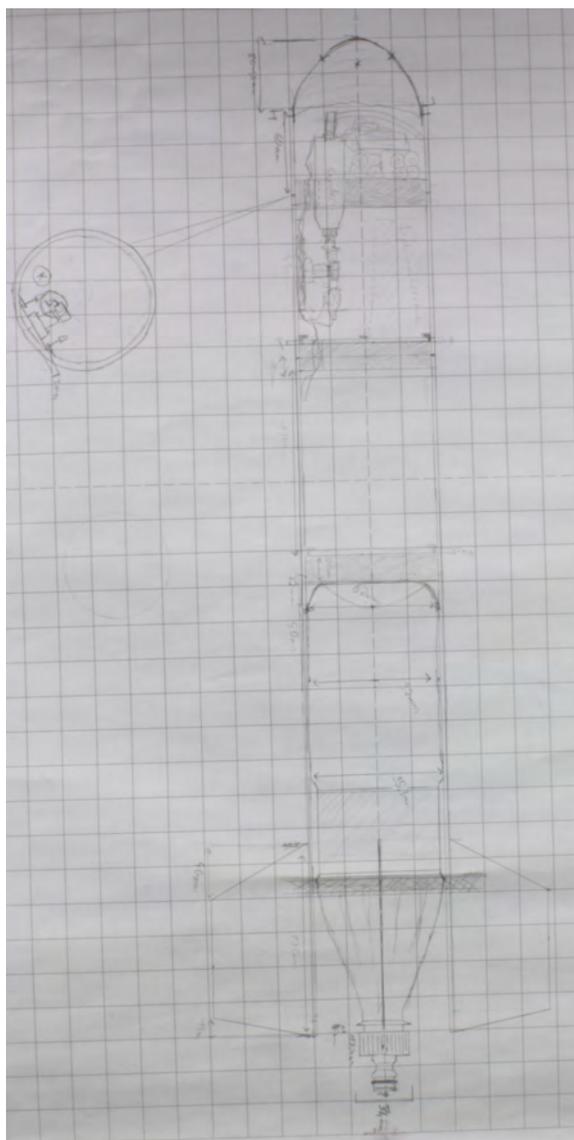
Kamera

Um die Experimente unter Mikrogravitation später auswerten zu können, sollten sie mit einer Video-Kamera aufgenommen werden. Uns standen zwei Kameras zur Verfügung: eine mit Infrarotbeleuchtung und auswechselbaren Objektiven, welche nur schwarz-weiße Bilder aufnahm, und die andere mit eingebautem Sender und Farbaufnahme. Die Einstellungen wie zum Beispiel die Gegenstandsweite und die jeweilige Schärfe der beiden Kameras mussten experimentell ermittelt werden. Außerdem maßen wir das Sichtfeld der beiden Kameras aus.



Kamera und Sendeeinheit

Der Sender der Kamera sollte die Filme zum Empfänger in der Bodenstation senden. Anfangs stellte sich heraus, dass das Funknetz des LSZU den Funkkontakt zwischen Rakete und Empfänger störte. So musste dieses vor jedem Start ausgeschaltet werden. Als schwierig erwies sich die Verschaltung der verschiedenen Energiequellen für Kamera und Sender, weil diese unterschiedliche Spannungen brauchten. Auch das Gewicht der Batterien musste berücksichtigt werden.



Technischer Bauplan der Aquariane 1.1

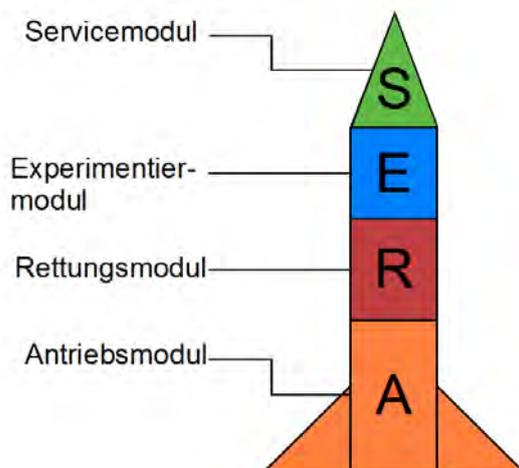
Die Ergebnisse der Vorversuche und die einzelnen Skizzen wurden zu einer großen technischen Zeichnung zusammengefügt, die zur Grundlage für den Bau unserer Rakete wurde.

Unsere Raketen

LYNTON ARDIZZONE, TOBIAS HOHL

Aufbau

Die erste Frage beim Bau unserer Forschungsrakete war, wie sie wohl aufgebaut werden würde. Es wurde überlegt, die Rakete modular zu konstruieren und die Module dann zum Schluss zusammenzufügen, damit Batterien und Experimente zwischen den Flügeln einfach und schnell ausgewechselt werden können. Also bildeten wir Gruppen für die notwendigen Module. Diese waren das Antriebs-, das Rettungs-, das Experimentier- und das Servicemodul. Dass das Servicemodul in die Spitze kam, hatte einen bestimmten Grund, denn es trug wegen des hohen Gewichts auch zu einem stabileren Flug bei.



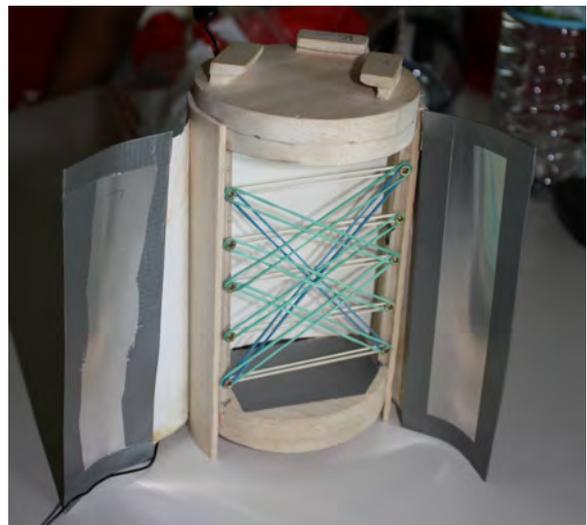
Das Antriebsmodul

Wie schon in den Vorversuchen festgelegt verwendeten wir eine Wasserrakete als Antrieb. Wir entschlossen uns, eine Außenhaut aus Balsaholz um die Flasche zu bauen, an der dann auch die Finnen zur Flugstabilisierung befestigt werden konnten. Balsaholz ist ein äußerst leichtes, aber doch recht widerstandsfähiges Tropenholz, welches deshalb auch im Flugzeugmodellbau verwendet wird. Es kann aufgrund seiner Stabilität auch in sehr dünnen Schichten verbaut werden. Die einzelnen Module sollten

durch ein Stecksystem verbunden werden, sodass man die gesamte Rakete in die vier Module zerlegen konnte.

Das Rettungsmodul

Ohne dieses Modul wäre die Rakete ziemlich sicher nach der ersten Landung nicht mehr verwendbar gewesen. Demnach musste das Rettungsmodul zuverlässig funktionieren. Mit Haken und Schrauben wurden Gummibänder im Fallschirmmodul gespannt. Die drei Fallschirme befestigten wir mithilfe eines Karabinerhakens am Boden des Moduls. Dann wurden die Fallschirme zusammengefaltet und gegen die Gummibänder in das Modul gepresst. Das Modul besaß eine Doppeltür, die die Fallschirme am Herausgeschleudertwerden hinderte.



Das Fallschirmmodul mit Luke, Gummis und Türen

Die zwei Türen wurden mit Stoffscharnieren am Modul befestigt und durch ein weiteres Gummiband zugehalten. Dies wurde zwischen einer Schraube und dem Ausleger eines Servomotors auf der Außenseite des Moduls um die Außenwand und über die Türen gespannt. Ein Servomotor dreht sich nicht wie herkömmliche Elektromotoren im Kreis, sondern macht nur eine kurze Bewegung, also zum Beispiel ein Stück vor oder zurück. Mithilfe einer herkömmlichen Modellbaufernbedienung konnten wir den Empfänger im Fallschirmmodul vom Boden aus ansteuern, welcher den Servomotor aktivierte, sodass das Gummi vom Ausleger abschnalzte. Die Fallschirme wurden aus der

Luke geschleudert und entfalteteten sich.



Die Rakete mit sich entfaltenden Fallschirmen

Das Experimentiermodul

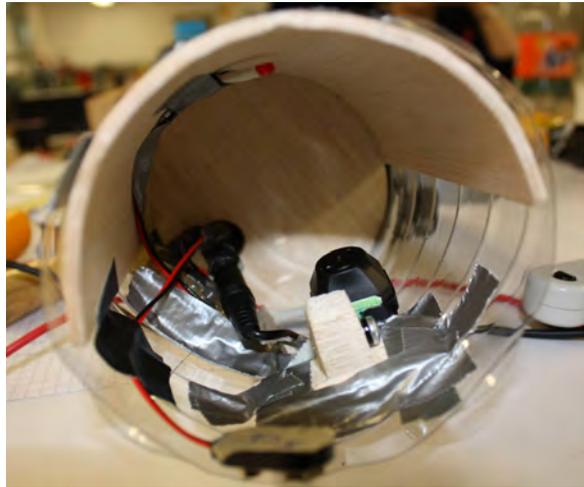


Das Wasserwaagenexperiment in der Führung des Moduls

Im Experimentiermodul sollten sämtliche Experimente durchgeführt und gefilmt werden. Das jeweilige Experiment wurde auf einer Experimentierplatte befestigt und in eine Führung eingeschoben, sodass es von der Kamera, welche an der Innenwand des Moduls montiert war, aufgenommen werden konnte.

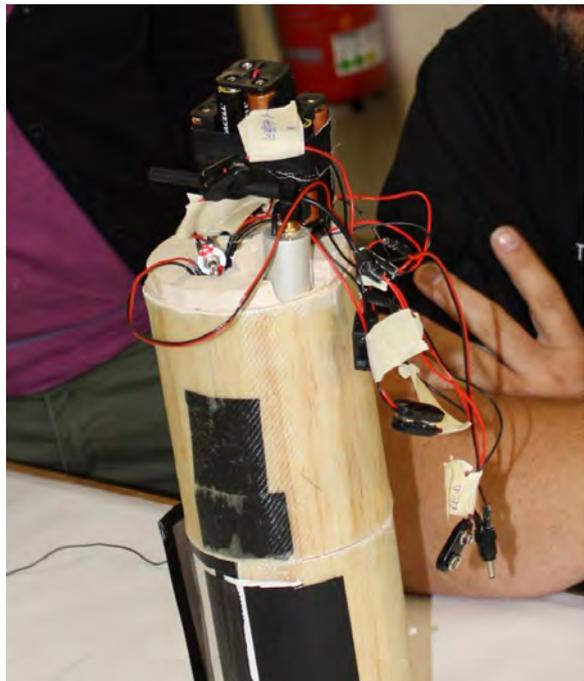
Der Film wurde dann per Sender in der Kamera

und Empfänger auf der Erde an den Laptop unseres Capcom (Capsule Communicator) Robin gesendet.



Die Kamera im Experimentiermodul

Das Servicemodul



Die Kabel zur Stromversorgung und die Batterien

Im Servicemodul in der Spitze der Rakete befand sich die Energieversorgung. Mittels eines seitlichen Schalters konnte man die Versorgung an- und ausschalten. Schließlich mussten die Kamera, deren Sender, der Servomotor im Fallschirmmodul sowie der Gravitationsensor, wel-

cher bei Mikrogravitation leuchtet, mit Energie versorgt werden. Außerdem benötigten die einzelnen Bauelemente unterschiedliche Spannung, weshalb eine komplizierte Schaltung der Batterien entworfen werden musste. Das Servicemodul musste außerdem gepolstert werden, da die Rakete mit der Spitze zuerst am Boden aufkommen würde.

Die Aquariane SkyEye

Beim Besuch in Lampoldshausen bauten einige Kursteilnehmer eine einfache Rakete aus PET-Flaschen. Diese Raketen hielten keinem größerem Druck als 5 bar stand und besaßen zudem keinen funktionierenden Fallschirm, weshalb sie sich nicht für unsere Mikrogravitationsexperimente eigneten. Es wurde im Kurs jedoch entschieden, eine dieser Raketen wegen ihrer hohen Stabilität und der sehr ruhigen Flugbahn für Außenbordaufnahmen während eines Fluges zu verwenden. Dazu wurde die sehr robuste Kamera mit der Blickrichtung nach unten an die Außenseite der Rakete geklebt und mit Schaumstoff gepolstert. Die Batterien wurden im oberen Drittel der Rakete in Schaumstoff eingebettet. Bei den Flügen dieser Raketen entstanden trotz Bildstörungen einige sehr eindrucksvolle Videos, von denen sich das Publikum bei der Abschlusspräsentation begeistert zeigte.



Blick aus der Aquariane SkyEye während des Fluges. Auf der Wiese erkennt man die Bodenmannschaft.

Die in Lampoldshausen aus Gummi gegossene Spitze der Aquariane SkyEye war stabil und

leicht und wurde daher nach dem Filmen der Flüge abmontiert und für die Aquariane 680 wiederverwendet.

Die Aquariane 1.1



Die fertige Aquariane 1.1 vor dem Nachtstart

Bei der Aquariane 1.1 wurde zunächst 2 mm dickes Balsaholz um die Zwischenböden der einzelnen Module gebogen. Wenn man Balsaholz in Wasser einweicht, lässt es sich entlang der Faser um sehr enge Kurven biegen. An das untere Ende des Antriebsmoduls wurden dann mithilfe von kleinen Leisten die vier Finnen geklebt, deren Größe durch Vergleiche mit anderen Raketen ermittelt wurde. Um die Stabilität zu erhöhen, wurden sämtliche Module mit einer Schicht aus GFK überzogen. GFK ist die Abkürzung für glasfaserverstärkter Kunststoff, umgangssprachlich auch Fiberglas genannt. Man versteht darunter einen Verbund aus einem Kunststoff (bei uns Epoxydharz) und Glasfasern. GFK hält extrem hohen Zugkräften stand und wird deshalb beispielsweise auch im Flugzeugbau verwendet.

Die fertige Rakete wog insgesamt 1,1 Kilogramm. Das Gewicht war für die Namensgebung verantwortlich. Wie in Vorversuchen festgestellt, betrug das eigentliche Maximalgewicht für eine angemessene Höhe ungefähr die Hälfte, und beim Start der Rakete herrschte große

Enttäuschung unter den Kursteilnehmern, dass die Rakete nur sehr niedrig flog.

Die Aquariane 680

Wenige Tage vor der Abschlusspräsentation mussten also noch wichtige Überlegungen durchgeführt werden, wie man das Gewicht der Rakete radikal reduzieren könnte. Anders als in der Aquariane 1.1, bei der eine große Kamera und ein schwerer Sender für das hohe Gewicht mitverantwortlich waren, bauten wir in die zweite Rakete eine wesentlich kleinere Kamera mit integriertem Sender ein, die wir nachträglich bestellt hatten. Da diese Kamera auch weniger Spannung benötigte, konnten wir noch mehr Gewicht bei der Energieversorgung sparen. Als Nachteil erwies sich jedoch die Beleuchtung, da die erste Kamera integrierte Infrarot-LEDs besaß. Deshalb musste eine Seite des Experimentiermoduls aus durchsichtigem Plastik gefertigt werden. Außerdem besaß die neue Kamera ein viel kleineres Sichtfeld, sodass Experiment und Position der Kamera neu aufeinander abgestimmt werden mussten. Auf den schweren glasfaserverstärkten Kunststoff konnte verzichtet werden, da 3 mm dickes Balsaholz verwendet wurde. Dies sparte ebenfalls einiges an Gewicht ein, sodass die fertige Rakete nur noch 680 Gramm wog, und somit fähig war, in eine angemessene Höhe vorzustoßen.

Da das gesamte System noch nie als solches getestet worden war, und da dies unsere letzte Chance für einen Start vor der Abschlusspräsentation war, waren vor dem ersten Start der Aquariane 680 alle sehr gespannt. Würde die Helligkeit für eine gelungene Aufnahme ausreichen? War die Reichweite der Funkübertragung wirklich hoch genug? Herrschte der Zustand der Mikrogravitation lange genug, dass das Experiment stattfinden konnte? Würden die Fallschirme auslösen?

Pure Begeisterung war die Reaktion, als wir sahen, wie hoch die Rakete flog, und dass wir das aufgenommene Video sogar ohne Zeitlupe und digitale Veränderungen unseren Zuschauern beim Vortrag präsentieren konnten.



Startphase der Aquariane 680

Die Experimente

LILIAN HEERE

Wie die Wissenschaftler in einer „echten“ Forschungsrakete führten auch wir Experimente in unserer Wasserrakete durch. Wegen der geringeren Flughöhe mussten wir uns hierbei auf Experimente beschränken, die in einer Zeitspanne von 2–3 Sekunden ablaufen können. Alle waren vor dem ersten Start der Aquariane 680 sehr gespannt. Würde man etwas erkennen? Würde es hell genug sein? Würde der Zustand der Mikrogravitation lange genug herrschen, dass das Experiment stattfinden kann? Als wir die ersten Videos sahen, waren wir begeistert. Die Experimente funktionierten auf Anhieb, und die Bilder waren so gut, dass wir sie sogar ohne Zeitlupe und digitale Bearbeitung auswerten und unseren Zuschauern beim Vortrag präsentieren konnten.

Die Libelle

Eines der eindrucksvollsten Experimente ist unsere Libelle. Keine Angst, Tierversuche waren bei uns verboten. Als Libelle bezeichnet man neben dem Insekt auch das mittlere Bauteil der Wasserwaage, in dem eine Luftblase in einer Flüssigkeit schwimmt. Die Oberflächenspannung bewirkt, dass die Oberfläche der Luftblase möglichst klein wird. Der geometrische Körper mit der kleinsten Oberfläche ist die Kugel, weshalb die Luftblase ohne weitere Kräfte die Form einer Kugel annehmen müsste. Tatsächlich aber wird sie aufgrund des Auftriebs gegen die obere Wand der Libelle gedrückt und linsenförmig verformt. Wir vermuteten, dass sich die Blase bei Mikrogravitation zur Kugel formen würde. Die Bilder zeigen, dass wir richtig vermuteten.



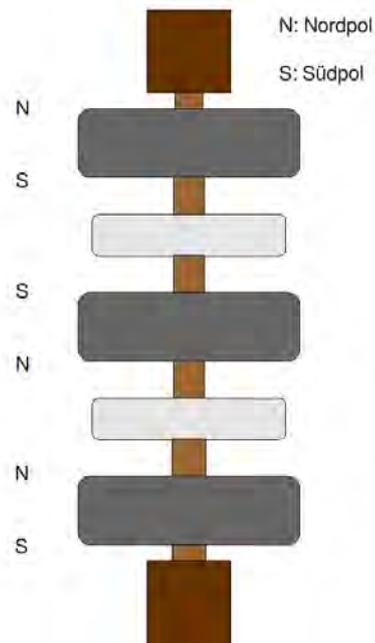
Bei wirkender Schwerkraft erscheint die Luftblase linsenförmig



Die Luftblase wird bei Mikrogravitation kugelförmig

Das Magnetexperiment

Bei diesem Experiment sind drei Magnete auf einer Stange aufgereiht. Die Pole sind so gerichtet, dass sich die Magnete abstoßen. Ohne weitere Kräfte hätte sich der oberste Magnet also ganz oben, der mittlere in der Mitte und der unterste ganz unten auf der Stange befinden müssen. Da die Schwerkraft allerdings gegen die magnetischen Kräfte wirkt, befindet sich der oberste Magnet nur knapp über der Mitte.



Skizze des Magnetexperiments. Die hellgrauen Scheiben sind Schaumstoffplättchen

Wir vermuteten, dass sich, wäre die Schwerkraft ausgeschaltet, die Magnete über die ganze Stange verteilen würden. Wir fertigten also eine Markierung an, indem wir Linien um die Mitte herum anzeichneten.

Wenn unsere Vermutung stimmte, würde der mittlere Magnet bei der Mikrogravitation genau zwischen den von uns rot gezeichneten Linien schweben. Genau das sah man auch auf unseren Videos. Außerdem sah man deutlich, dass die Schaumstoffringe, die sich zur Polsterung zwischen den Magneten befanden, frei schwebten.



Der mittlere Magnet richtet sich aus

Die Sanduhr

Das dritte von uns durchgeführte Experiment war das Sanduhr-Experiment. Wir wollten das „Rieserverhalten“ des Sandes in der Mikrogravitation beobachten. Dafür nahmen wir eine kleine Zahnputz- und Sanduhr. Das Knifflige bei diesem Experiment war das Positionieren der Kamera, da wir genau die Stelle der Sanduhr im Bild haben wollten, wo man den Sand hinunter rieseln sah. Außerdem befand sich in der Sanduhr nur Sand für 3 Minuten. Deshalb musste die Rakete bis kurz vor der Startsequenz auf dem Kopf gehalten werden. Wir mussten uns mit den Startvorbereitungen beeilen, da uns buchstäblich die Zeit davon rann. Zum Glück war dann noch genug Sand in der Sanduhr, und so konnten wir beobachten, dass der Sand aufhörte zu rieseln, und dass der Sand im unteren Teil der Sanduhr frei schwebte.



Bild der Sanduhr auf dem Boden

Wir hatten noch weitere Experimente vorbereitet, die wir aber wegen Zeitproblemen nicht durchführen konnten:

Das Schnappdeckelglas mit Sprudel

Hier vermuten wir, dass sich die Oberfläche des Wassers wieder aufgrund der Oberflächenspannung wölbt. Bei dem mit Sprudel gefüllten Glas wollen wir die Luftbläschen beobachten. Das Problem hierbei ist, die Kamera so einzustellen, dass man die Bläschen erkennen kann.



Bild vom Schnappdeckelglas

Das schwingende Pendel

Dieses Experiment besteht aus einem Faden, der an einer Schraube befestigt ist, und an dem eine Mutter hängt. Damit wollten wir das Pendelverhalten in der Mikrogravitation untersuchen. Das klingt einfach, bringt jedoch viele Schwierigkeiten mit sich. Einerseits sollte die Schnur lang sein, damit das Pendel nicht zu stark abgebremst wird. Andererseits muss das Experiment miniaturisiert werden, um in unsere Rakete zu passen. Ein weiteres Problem ist, das Pendel auf der Startrampe kontrolliert anzustoßen. Das Pendel schwingt ja nur deshalb hin und her, weil es von der Schwerkraft abgebremst und wieder beschleunigt wird. Deshalb

vermuten wir, dass es sich bei Mikrogravitation im Kreis dreht.

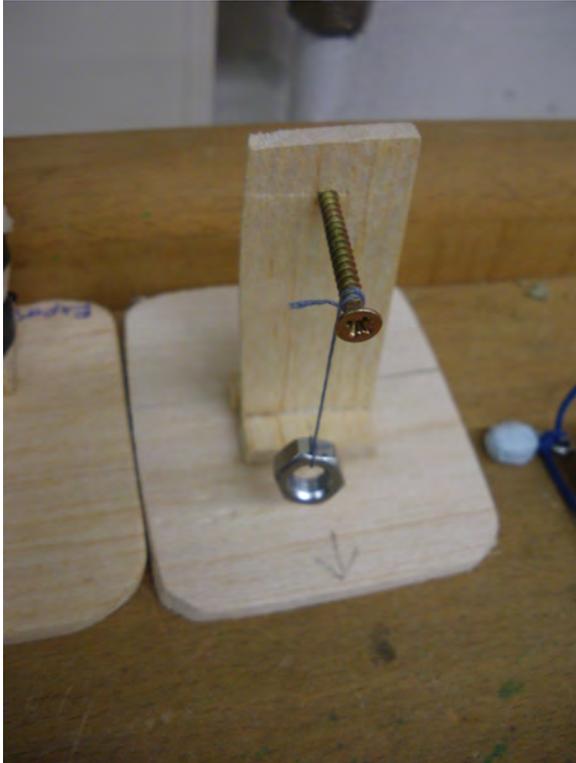


Bild vom Pendel

Durch unsere Experimente haben wir einen kleinen Einblick in die Phänomene der Mikrogravitation bekommen. Es ist verblüffend, wie viele Dinge sich ohne den Einfluss der Schwerkraft anders verhalten.

Im Wald von Lampoldshausen

CHRISTINA KUHNLE, SANDRA WACKER

Während unserer ganzen Kursarbeit haben wir viel Zeit im Werkraum und in unserem Kursraum verbracht. Am 4. 9. 2009 stand aber eine kursspezifische Exkursion auf dem Tagesplan. Und was hätte sich besser angeboten, als ein Besuch beim nahegelegenen Standort des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

An diesem Tag machten wir uns schon morgens auf den Weg zum DLR-Standort Lampoldshausen. Das DLR betreibt dort ein Testzentrum für Raketentriebwerke. Alle Raketentriebwerke müssen verschiedene Tests bestanden haben,

bevor sie in den Einsatz kommen. In Lampoldshausen wird sogar das Triebwerk Vulcain getestet, mit dem die europäische Rakete Ariane 5 angetrieben wird. Wir waren also ziemlich neugierig, was wir dort wohl zu sehen bekommen würden. Als wir nach kurzer Fahrtzeit in Lampoldshausen ankamen, wiesen uns unsere Leiter schon darauf hin, dass wir auf dem Gelände nicht fotografieren dürften. Da es sich bei diesem Testzentrum um ein sicherheitsrelevantes Objekt handelt, müssen diverse Vorschriften beachtet werden, da wir schließlich Spione sein könnten. Nach diesem ersten Sicherheitshinweis gingen wir dann zum Eingang und wurden dort auch direkt vom Portier aufgehalten. Das gesamte Gelände ist von einem Zaun mit Stacheldraht umgeben, und man darf es nur mit einem Mitarbeiterausweis oder, wie wir, mit einem Besucherausweis betreten.

School_Lab

Auf dem Gelände sind wir dann sofort zum School_Lab geführt worden. Das ist ein extra für Schüler geschaffenes Programm des DLR. Dort halten Wissenschaftler Vorträge über verschiedene Themen für Schülergruppen. Die Schüler können ihre Fragen stellen und auch eigene Praxisversuche machen. Es gab verschiedene Themen, zu denen wir in Gruppen eine kleine Einführung bekamen und dann auch selber experimentieren und forschen durften. So gab es zum Beispiel einen Mitarbeiter des DLR, der uns Informationen und Erläuterungen über die Raketentechnik gab. Bei ihm durften wir dann auch selbst Modellraketen aus Flaschen bauen und sogar Startversuche durchführen. Da dieses Thema sehr gut zu unserem Kursthema passte, nutzten wir die Gelegenheit und fragten nach Tipps und Ratschlägen für unsere eigenen Raketen.

Eine andere Gruppe konnte Experimente in einer Vakuumkammer machen. Außerdem gab es noch eine kleine Einführung in das Infrarotlicht und das aktuelle SOFIA-Projekt, bei dem ein Weltraumteleskop in einem Flugzeug montiert wurde.

Unser gesamter Kurs wurde in 3 Gruppen aufgeteilt, und wir bekamen die Gelegenheit, uns



in zwei Durchgängen insgesamt zwei verschiedenen Themen zu widmen. Zwischen den zwei Durchgängen hatten wir die Gelegenheit, in der Kantine des DLR zu Mittag zu essen, eine Gelegenheit, die wir natürlich sofort nutzten. Der Weg dorthin war zwar etwas lang, da das Gelände ziemlich groß ist und die Kantine etwas abseits liegt, aber die Bewegung war eine willkommene Abwechslung. Manche der Mitarbeiter fahren sogar mit dem Fahrrad zum Essen. Gut gestärkt machten wir uns dann auf den Rückweg zur zweiten Runde.

Museum und Gelände

Nach unserem Aufenthalt im School_Lab bekamen wir noch eine kurze Führung durch ein kleines Museum des DLR, das für den bevorstehenden Tag der offenen Tür vorbereitet war. In dem Museum sind Teile von Raketen ausgestellt, unter anderem Originalteile der Ariane und sogar Bauteile aus Raumschiffen des Apollo-Programms. Nach der Museumsführung ging es nach draußen, wo wir bei einem Rundgang das Gelände des DLR gezeigt und erklärt be-

kamen. Wir hätten fast einen echten Test des Vulcain-Triebwerks miterleben dürfen, aber er wurde leider kurz vorher noch abgesagt. Wir bekamen einen Überblick über das weiträumige Gelände, mit all seinen Versuchseinrichtungen. Wir kamen an dem evakuierbaren Prüfstand für die oberste Stufe der Ariane 5 vorbei und erfuhren zum Beispiel, dass jede Sekunde 2000 Liter Kühlwasser während solch eines Tests nötig sind, oder dass die Wasserstofftanks aus U-Boot-Wracks des zweiten Weltkriegs geborgen worden waren, da sie eine deutlich höhere Druckfestigkeit aufweisen als heutige Tanks.

Alles in allem war dies ein sehr erlebnisreicher und interessanter Ausflug für uns. Auf der Heimfahrt diskutierten wir angeregt unsere Erlebnisse des Tages, und während der folgenden Tage konnten wir einige Tipps in unserer Kursarbeit gut verwenden.

Rückblick

ANNIKA WIEST

Jaja, unser Mikrokurs, das war etwas unvergessliches. Wir haben viele schöne Dinge erlebt. Hier noch einige unserer Gedankengänge nach diesen 2 Wochen.

In unserem Kurs war es anders als in der Schule: Wir arbeiteten gemeinschaftlich in der Gruppe und verstanden uns super. Jeder half mit, wo er konnte, und keiner drückte sich vor der Arbeit. Deshalb schreckten wir auch vor Überstunden nicht zurück, so dass wir oft zu spät zum Abendessen kamen und auch mal auf die abendliche KüA-Schiene verzichteten. Über die Wissenserweiterung hinaus hatten wir im Kurs die Gelegenheit, unsere Präsentationstechniken und unseren Vortragsstil zu verbessern.

Viel Spaß hatten wir vor allem beim Sportfest, wo wir uns als Gruppe gegenseitig anfeuerten und mit ganzem Körpereinsatz den Sieg errangen, zum Beispiel als wir unsere T-Shirts auszogen (wenigstens manche von uns), um damit mehr Wasser zu transportieren. Es herrschte bei allen Kusteilnehmern eine Bombenstimmung.

Die Krönung unserer Kursarbeit war eindeutig der spektakuläre Raketenstart am letzten Tag,

bei dem wir alle mitfieberten und schließlich zusammen feierten, als dann alles glatt lief und unsere Aquariane 680 butterweich im Gras landete. Lehrreich und interessant gestaltete sich die nächtliche Himmelsbetrachtung, bei der wir die Sternbilder des Sommerhimmels erklärt bekamen und Satelliten beobachten konnten.

Die Zeit in Adelsheim und vor allem die Teamarbeit in unserem Mikrokurs war einfach unvergesslich und aufregend, und dieses spezielle Akademiefeeling war unbeschreiblich und einzigartig. Wir haben bei der Akademie viel über uns selbst und unsere Persönlichkeit herausgefunden und etwas für unser Leben gelernt. Die geschlossenen Freundschaften werden noch weit über die Akademie hinaus bestehen, und wir können wirklich alle bestätigen, dass es ein Leben vor und ein Leben nach der Akademie gibt, wie es uns Ulrike schon am Eröffnungswochenende versprochen hatte. Wir freuen uns schon auf das kursinterne Nachtreffen, bei dem wir uns hoffentlich schon bald wieder sehen. Denn so eine schöne Zeit will man nicht vergessen, sondern immer wieder daran anknüpfen.

Wir wollen uns hier noch einmal bei unseren Kursleitern für ihr Engagement und ihre Unterstützung bedanken.

Es war einfach relativ ;-) genial!