

„Brücke zum Weltraum“

Im Februar fand in Bordeaux die 24. DLR-Parabelflugkampagne statt – und das Physik Journal war mit an Bord.

Oliver Dreissigacker

Als wäre die ganze Angelegenheit nicht schon aufregend genug, darf ich den Start des Airbus A300 „Zero G“ im Cockpit miterleben. Auf dem Klappsitz links Platz zu nehmen, ist Millimeterarbeit, denn im Cockpit des betagten Airbus sitzen bereits vier Crew-Mitglieder: Pilot, Kopilot und zwei Bordingenieure. Pünktlich um 9:30 Uhr biegen wir auf die Startbahn ein, kurz darauf gibt Pilot Bordenave Gas. Bereits nach einem Drittel der Startbahn zieht er die Nase des A300 nach oben. Das vergleichsweise geringe Gewicht zahlt sich aus; neben der Besatzung sind nur vierzig Passagiere an Bord. Ich schaue aus dem Seitenfenster, wir gewinnen rasch an Höhe. Es geht Richtung Korsika. Bis zur ersten Parabel dauert es noch eine halbe Stunde, und während ich die Ruhe des Flugs genieße, versuche ich, mir die Vorbereitung und die Anweisungen des Novespace- und DLR-Personals noch einmal in Erinnerung zu rufen.

Zwei Tage zuvor war ich in Bordeaux eingetroffen, eine Woche nach den Experimentatoren und ihrem Equipment. Nach dem Einchecken am „Novespace-Schalter“ erhielten wir Medienvertreter zu nächst ein ausführliches Briefing. Ulrike Friedrich, Projektmanagerin für die DLR-Parabelflugkampagnen, erläuterte uns die Vor- und Nachteile der verschiedenen Forschungsmöglichkeiten in der Schwerelosigkeit, mit den verschiedenen Zeitskalen und Güten bei der Konstanz der Mikrogravitation. Novespace garantiert bei seinen Flügen eine Spanne von plusminus 0,05 g.

Friedrich und der Programmmanager von Novespace Frédéric Gai haben uns ermahnt, lose Gegenstände zu vermeiden, die für Mensch und Material zur Gefahrenquelle werden könnten, und uns immer mit den überall



DLR, E. Mittelbach

An den Flugtagen ist frühes Aufstehen angesagt: Alle Teilnehmer des Parabelflugs müssen ihre Vorbereitungen gegen 9 Uhr abgeschlossen haben und an Bord sein.

gespannten Gurten gegen Wegtreiben zu sichern. Damit sich auch alle daran halten, gibt es die Orange Men – eine Art Zero-G-Polizei, Novespace-Mitarbeiter in orangefarbenen Overalls, die notfalls eingreifen und Experimentatoren auf Abwegen wieder auf den Boden holen. Denn Kapriolen sind nur in der etwa zweieinhalb mal zwei Meter großen Free-float-Box erlaubt, die durch Netze vom Experimente-Areal abgetrennt ist.

Abschließend erhielten wir Tipps für das Abendessen: Ausreichend und ausgewogen zu essen ist wichtig, ermahnte uns Friedrich, denn der Flug ist anstrengender, als man meinen mag, und der Körper benötigt ausreichend Energiereserven. Das gilt freilich auch für's Frühstück. Kohlehydrate sind angesagt, Kaffee in Maßen und Fruchtsaft in bestenfalls kleinen Mengen.

Jetzt trage ich einen blauen Overall, dessen zahlreiche Taschen allesamt mit Klett- oder Reißverschlüssen verschließbar sind, damit sich nichts verselbständigen kann. Mein Equipment besteht aus Spiegelreflexkamera, Smartphone mit

messbereiter Accelerometer-App, einem Apfel-Pendel, der Januar-Ausgabe des Physik Journals und der obligatorischen Tüte, die die Orange Men an jeden verteilen. Für alle Fälle. Gestern muss der Flug ziemlich rau gewesen sein, und es gab – trotz Medikamente – die durchschnittliche Zehn-Prozent-Quote an übelkeitsbedingten Ausfällen, selbst ein sehr flugerfahrener Teilnehmer war darunter. Ob ich das vertragen werde, geht mir durch den Kopf, als ich das Cockpit verlasse und an den Sitzreihen im vorderen Flugzeuggittel vorbei das Experimentier-Areal erreiche.

Viele der Experimente dieser 24. Parabelflugkampagne des DLR^{#)} sollen später auf Höhenforschungsraketen fliegen oder auf die Internationale Raumstation kommen, somit sind die Flüge hier eine „Brücke zum Weltraum“. Gleich als erstes kommt die größte Anlage, TEMPUS, zum „Tiegel-freien elektromagnetischen Positionieren unter Schwerelosigkeit“ des DLR-Instituts für Materialphysik im Weltraum und der Unis Saarbrücken, Göttingen, Ulm und

#) <http://bit.ly/1v8tGbE>

Aachen. Sie erlaubt es, Metalle und elektrisch leitende Legierungen behälterfrei zu untersuchen, also ohne Reaktionen zwischen der Probe und dem Tiegel. Dazu wird die Probe in einer Spule von einem zeitlich veränderlichen Magnetfeld in der Schwebelage gehalten, durch die induzierten Wirbelströme erhitzt und aufgeschmolzen. Der Vergleich des Probenverhaltens in der Mikrogravitation und auf der Erde erlaubt Rückschlüsse auf schwerkraftgetriebene Phänomene wie Konvektion, Sedimentation und Auftrieb.

Bei der Durchsage „Five minutes to first parabola!“ nehme ich meinen Sitz ein. Die Wissenschaftler dagegen liegen oder knien allesamt am Boden und haken sich mit den Beinen in die für sie gespannten roten Gurte ein, um später nicht davon zu schweben. „One minute!“ Ulrike Friedrich weist uns an, die Anschnallgurte für die erste Parabel stramm zu ziehen, damit wir uns „ganz auf das Gefühl konzentrieren können“ und uns nicht festhalten müssen. „Five – four – three – two – one – pull-up!“ In 6100 Metern Höhe zieht Bordenave die Nase des A300 nach oben. 1,8 g drücken uns in den Sitz. „Thirty!“ Der Zero-G steigt schon dreißig Grad steil nach oben, trotz Vollgas der beiden Triebwerke sinkt die Geschwindigkeit von etwa 820 auf 570 Stundenkilometer. „Forty!“ 7500 Meter, gleich passiert's!



O. Dreisigacker

Konzentration im Cockpit: Neben Kapitän und Kopilot kümmern sich zwei Bordingenieure um die Flugdaten und regeln den Triebwerksschub während der Parabeln.

„Injection!“

Die Cockpitbesatzung steuert in die Parabel und nimmt den Schub weg. Innerhalb eines Sekundenbruchteils zieht es uns nach oben in die Gurte, ein lautes, vielstimmiges „Uoooo!“ der Erstflieger schallt durch die Kabine. Auch wenn uns allen die Physik klar ist, sind wir von diesem Moment überrascht. Während das Gehirn beim Sprung vom Zehn-Meter-Turm im Schwimmbad oder beim Bungee-Jumping die optischen Informationen über die Bewegung und den Fahrtwind des Falls erhält, fehlt das hier völlig, denn die Kabine bleibt natürlich unverändert.

Würden nicht die Sonnenstrahlen unter sich stetig änderndem Winkel durch die Fenster scheinen, wäre überhaupt keine Bewegung auszumachen.

„Thirty!“ Der Scheitelpunkt der Bahn bei 8500 Metern liegt längst hinter uns. „Forty!“ Der A300 ist schon fast im Sturzflug. „Pull-out!“ Bordenave fängt die Maschine ab, und die Schwer- und die Fliehkräfte haben uns wieder. Zum Ende der Hyper-g-Phase gibt es keine Ansage, lediglich ein langes, leises Zischen von den Tragflächen ist zu hören. Ich bin immer noch überwältigt von der „Injection“, alle anderen Phasen, auch die Schwe-

MIKROGRAVITATION GANZ GROSS

Wissenschaftlern stehen eine ganze Reihe verschiedener **Forschungsmöglichkeiten in der Schwerelosigkeit** zur Verfügung, angefangen vom Fallturm über Parabelflüge, Höhenforschungsraketen, Satelliten und Raumstationen. Eine ganze Reihe der Instrumente auf den Flügen sind Vorläufer für solche, die für Messungen auf Raketen oder an Bord der ISS dienen. Die großen Vorteile der **Parabelflüge** sind die vergleichsweise geringen Kosten und die mögliche Einflussnahme auf den laufenden Versuch. Und für viele der zu untersuchenden Phänomene reichen die gut 20 Sekunden Schwerelosigkeit völlig aus.

Am Flughafen Bordeaux-Mérignac hat **Novespace** seinen Sitz, ein Spin-off der französischen Raumfahrtagentur

CNES, das auch für die ESA und das DLR die Flüge durchführt und die Teilnehmer in technischen Fragen unterstützt. Die Hallen und Bürocontainer von Novespace muten auf den ersten Blick etwas provisorisch an, verfügen aber über genügend Werkstattplätze für die Vorbereitung der rund ein Dutzend Experimente pro Flug sowie über ein Labor, in dem die Wissenschaftler biologische Proben präparieren können.

Der für die Parabelflüge speziell zertifizierte **Airbus A300 B2** stammt aus dem Jahr 1973 und war nie im Liniendienst, sondern nur als Testmaschine unterwegs.

Jede der **DLR-Kampagnen** besteht aus drei Flugtagen mit jeweils sechsmal fünf Parabeln plus eine vorab zum Testen der Experimente und Eingewöh-

nen der „Erstflieger“. Die Versuchsanordnungen befinden sich in einem rund 20 Meter langen, frei geräumten Areal in der Mitte des Airbus, denn die beste Mikrogravitation herrscht auf Höhe der Tragflächen. Insgesamt elf Versuchsanlagen waren bei der 24. DLR-Kampagne mit an Bord, aus den Bereichen Physik, Technologie, Materialforschung und Humanphysiologie.

Mittlerweile stehen Flüge auch **„Weltraumtouristen“** zur Verfügung, etwa durch die Zero G Corporation in den USA mit ihrer Boeing 727. In den derzeit boomenden Markt ist auch Novespace aktiv geworden: 6000 Euro kostet ein Flug mit 15 Parabeln, ein weiterer Anbieter, Swiss Space Systems, hat eine „World Tour“ von Flügen angekündigt, darunter auch ab Zürich.



Während der Parabeln erweist sich das Physik Journal auch für Redakteure als abgehobene Lektüre.

relosigkeit selbst, sind im Vergleich dazu fast unspektakulär.

Nach der zweiten Parabel schickt mich Friedrich in die Free-float-Box. Auch hier sind Gurte am Boden, in die ich meine Beine einhänge, sitzend, mit dem Rücken zur Bordwand. Während der Hyper-g-Phase spüre ich deshalb deutlich das „Wegdrehen“ des Schwerkraftvektors, während die Fliehkraft weiter senkrecht zum Kabinenboden zeigt, der Gesamt-Kraftvektor also vom Betrag her abnimmt, wie mir die App SPARKvue^{*)} auf meinem Smartphone bestätigt. Als Hommage an Isaac Newton habe ich einen Apfel dabei, den ich mit einem Nylonfaden gegen versehentliches Wegfliegen sichern muss. Er gibt somit ein passables Pendel ab. Für Zeitreihen der Pendelschwingung bleibt mir aber keine Zeit, schließlich soll auch die Ausgabe des Physik Journals noch einen Freiflug antreten. In der nächsten Parabel schwebte ich dann selbst als Testobjekt, wobei mich die Restgravitation meist schnell in Richtung Decke, Wand oder die Netze beschleunigt. Ob das an unbeherrschten Bewegungen meinerseits liegt, frage ich mich, doch mir fällt auf, wie auch Friedrich hin und her schwankt, während sie mich filmt.

Während eine Parabel für einen Körper im Vakuum trivial ist, ist sie es für ein Flugzeug ganz und gar nicht. Beispielsweise schalten

die Bordingenieure die Triebwerke nicht völlig ab, denn sie müssen exakt den Luftwiderstand ausgleichen, der sich mit Flughöhe und -geschwindigkeit laufend ändert. Weiteres „Problem“ ist der Auftrieb der Tragflächen, der eine unerwünschte Zusatzkraft während der Parabel darstellt. Um dies zu kompensieren, müssen die Piloten die Nase einige Grad nach unten drücken, damit die Maschine trotzdem der gewünschten Flugbahn folgt. Viele diffizile Aufgaben für die Crew, daher auch die vierköpfige Cockpit-Besatzung.

Ließen sich die verbleibenden plusminus 0,05 g nicht durch einen speziell programmierten „Autopiloten“ verbessern, hatte ich beim Briefing wissen wollen. Nein, hatte Friedrich geantwortet, die Flugbahn müsse so genau sein wie eine Autobahnfahrt mit 200 km/h, bei der die Abweichung bezogen auf die Fahrbahnmarkierung bei einem Millimeter läge. Es habe zwar Versuche in diese Richtung gegeben, an die Präzision der Novespace-Piloten komme aber nichts heran.

Auch Ralf Stannarius von der Uni Magdeburg und sein OASIS-Team haben mit dem Gewackel zu kämpfen. Sie untersuchen die Dynamik flüssigkristalliner Filme in der Schwerelosigkeit. In einem der beiden Set-ups erzeugen die Forscher eine freischwebende Blase, die unmittelbar nach ihrer Präparation schwingt – ein komplexes System mit Mehrphasenfluss, das die Forscher mit Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen beobachten und auswerten. „Das Schütteln

des Flugzeugs ist sehr stark, auch Druckschwankungen, die man als Mensch gar nicht spürt, machen uns zu schaffen“, erklärt Stannarius. Die Lösung war, in einer Parabel das Erzeugen der Blasen vorzubereiten und in der folgenden die Messungen durchzuführen.

„Don't move your head!“ Habe ich das Mantra für die Hyper-g-Phasen irgendwann nicht genug beachtet oder ist tatsächlich das Gewackel zwischen den Parabeln schuld an der in mir aufsteigenden Übelkeit? Ich bitte den Flugarzt um einen Scopolamin-Nachschlag, das Medikament, das den Brechreiz unterdrückt, er verabreicht es mir in der nächsten Pause.

Eines der Teams von Andreas Meyer, der neben TEMPUS auch für „µgESL“, verantwortlich ist, hat es übel erwischt, aber auf Experimentseite. Ihr Ziel ist es, Materialproben anders als bei TEMPUS zum Schweben zu bringen: elektrostatisch. Doch beim gestrigen Flug gelang es nicht, die Proben in der Schwebelage zu halten. „Der elektromagnetische Levitator hat ein Potentialminimum, Proben darin zu positionieren ist trotz Hyper-g-Phasen oder bei starkem ‚g-Jitter‘ wesentlich einfacher, als beim elektrostatischen“, erklärt Meyer. Die µgESL-Forscher waren dennoch guter Dinge für heute, doch nach der ersten Parabel erlitt der Positionierer einen mechanischen Schaden, der es unmöglich machte, für jede Parabel eine Probe in die Kammer einzubringen. „Das beheben wir jetzt und sind zuversichtlich, dann morgen mit un-



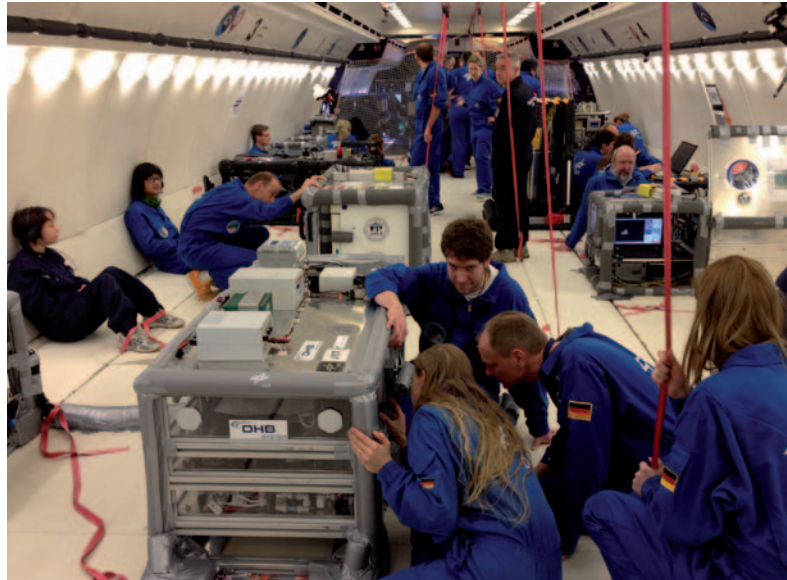
Im freien Fall in die Tiefe – in einer Höhe von 7500 Metern und bei einem Winkel von 45 Grad unter dem Horizont fangen die Piloten die Maschine wieder ab.

^{*)} J. Kuhn, P. Vogt, T. Wilhelm und S. Lück, Beschleunigungen messen mit SPARKvue, Phys. Unserer Zeit 44 (2), 97 (2013); DOI: 10.1002/phys.201390032; <http://bit.ly/1sRflf>

seren Tests fortfahren zu können“, sagt Meyer.

Hergen Oltmann von Astrium ist einer der Entwickler des konfokalen Laser-Scanning-Mikroskops FLUMIAS. Drei Teams der Unis Zürich, Magdeburg und Hohenheim untersuchen damit die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf unterschiedliche Arten von Körperzellen. Speziell in Hinsicht auf dieses „Gewackel“ mussten Oltmann und seine Kollegen das Gerät fit machen: Das Mikroskop beruht auf einem kommerziellen Gerät, der optische Weg und viele mechanische Komponenten mussten jedoch modifiziert werden. Hierbei stellt der Parabelflug mit dem ‚Jitter‘ und den Hyper-g-Phasen deutlich höhere Anforderungen an das Mikroskop als der ebenfalls geplante Raketenflug, bei dessen Start eine Beschleunigung bis zu 15 oder 16 g und ein paar Vibrationen auftreten. „Das hört sich viel an, aber nach sechzig, siebzig Sekunden ist der Spuk vorbei und es folgen sechs Minuten wirklich sehr gute Schwerelosigkeit“, erläutert Oltmann.

Es ist noch Zeit und so suche ich noch einmal das Cockpit auf, mein „Beobachtersitz“ ist frei. Die Seitenfenster sind jetzt verhängt, wir fliegen quasi mit Scheuklappen, und ich kann nur direkt nach vorne in den milchigen Dunst über Südwestfrankreich blicken. Während des Pull-ups ändert sich die Farbe in ein sattes Himmelblau. Injection! Hätten wir genügend



O. Dreisigacker

Letzte Vorbereitungen an den Experimenten, im Vordergrund der Photobioreaktor ModuLES, am rechten Bildrand Ralf Stannarius mit dem OASIS-Experiment.

Schwung, schießt es mir durch den Kopf, würde das Blau irgendwann in das Schwarz des Weltraums übergehen. Aber natürlich sind wir schon längst wieder beim Rücksturz zur Erde. Es wird wieder milchig draußen, plötzlich schiebt sich der Horizont durch's Blickfeld, Felder und Dörfer beginnen unablässig, nach oben durch das Fenster zu ziehen – ein wahrhaft irrer Anblick. Mir wird bei diesem Anblick mulmig, aber schon ertönt „Pull-out“ im Kopfhörer, und die Landschaft bewegt sich in die andere, wesentlich „natürlichere“ Richtung.

Kaum zu glauben, aber die ein- einhalbstündige Parabelsequenz ist wortwörtlich wie im Flug vergangen. Als sich rundherum die

Spannung löst und der Adrenalinpegel sinkt, verteilen die Orange Men Schokoriegel. Sie hatten einen ruhigen Flug – sie mussten keine Experimentatoren auf Abwegen einsammeln. Und auch keine der ausgegebenen Tüten.

Für etliche war es der letzte Flug mit dieser Maschine. Zu schwierig ist die Versorgungslage mit Ersatzteilen und Wartungspersonal, die für diesen betagten Typ zugelassen ist. Weltweit sind nur noch wenige als Frachter im Einsatz. Ersatz ist bereits in Sicht und noch dazu ein prominenter: der ehemalige deutsche „Kanzler-Airbus“, ein A310, der künftig den Wissenschaftlern als „Brücke zum Weltraum“ dient. Adieu, A300!