

# KTI Spacetech

Success Story

## „Weltraumfit“ dank MEMS-Technologie

Wenn die ESA-Raumsonde Rosetta im Februar 2004 zum Rendez-vous mit dem Kometen Churyumov-Gerasimenko aufbricht, fliegt an Bord das Experiment Rosina mit. Es soll flüchtige Bestandteile des Kometen chemisch analysieren und so Licht in die Entstehung unserer Erde bringen.

(Bild Elisabeth Heinzlmann)

Die an der Uni Bern konstruierte 'Schüttelmaschine' prüft die entwickelten Geräte auf ihre Tauglichkeit im Weltall. Im Bild der 'Cometary Pressure Sensor' COPS, den die Fachhochschule (HTA) Bern mit MEMS-Technologie ausstattete.



Wer Messgeräte auf die Reise ins All schicken will, sollte einen gut bestückten 'Technologie-Rucksack' mitbringen. Weltraumtüchtige Komponenten müssen höchste Anforderungen erfüllen, energiesparend, hochvakuumtauglich und vibrationsresistent sein, trotz schwierigsten Umgebungsbedingungen langfristig zuverlässig funktionieren und dabei bei kleinstem Gewicht möglichst wenig Raum beanspruchen. Mit wachsendem Kostendruck wird auch der Preis ein wichtiges Kriterium. Solch anspruchsvolle Entwicklungen haben nur durch eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit Aussicht auf Erfolg. Nur so kann akademisches Wissen der Universitäten, praxisnahes Know-how der Fachhochschulen und industrielle Erfahrung der Wirtschaft in einem Projekt vereint werden, wie dies exemplarisch für das Experiment Rosina der Fall ist.

## Im Kometen lesen, wie in einem Buch

Rosina ist der Name einer Instrumentengruppe, bestehend aus drei Sensoreinrichtungen, an deren Entwicklung sich - unter Leitung von Professor Hans Balsiger der Universität Bern - weltweit neun Institute beteiligen. Sie ist Teil der Rosetta-Mission, welche im Februar 2004 mit einer Ariane V Rakete Kurs auf den Kometen Churyumov-Gerasimenko nehmen wird. Nach einer 10-jährigen Reise in Richtung des Kometen sollen 12 Instrumente an Bord des Orbiters und neun weitere in einer Landekapsel diesen während der zweijährigen Umrundung beobachten. Dabei soll auch die Zusammensetzung seines Kerns, seiner Gase und Plasmaeigenschaften unter die Lupe genommen werden. Kometen - von griechisch ‚Koma‘ = Haar (Haarsterne) - sind instabile Gebilde geringer Masse, die einen Durchmesser von wenigen km bis zu 100 km haben können. Ihr Kern besteht aus kosmischem Staub und Eisparkeln. Nähern sie sich der Sonne, bewirkt die intensive Bestrahlung Ausbrüche leuchtender Gase und Staub, die dann als Koma (diffus leuchtende Nebel) den Kern umhüllen. Kometen entpuppen sich für die Forschenden als wahre Geschichtsbücher. „Unsere Sonne, die Planeten wie auch die Erde, Asteroiden und Kometen sind vor 4,6 Mia. Jahren aus einer dunklen Molekülwolke entstanden“, erklärt Professor Kathrin Altwegg der Uni Bern, die das Rosina-Projekt koordiniert und wissenschaftlich betreut. „Einst waren alle aus demselben Material, doch sie veränderten sich inzwischen unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung. Kometen haben das ursprüngliche Material am besten konserviert, da sie weit entfernt von der Sonne entstanden sind. Indem wir die Zusammensetzung der Kometen studieren, gewinnen wir Einblick in die Entstehungsgeschichte unseres Sonnensystems, der Erde und des Lebens allgemein.“

Rosina besteht aus spezifischen Messinstrumenten zur chemischen Analyse der flüchtigen Bestandteile des Kometen Churyumov-Gerasimenko. Zum einen geht es darum, das vom Kometen verdampfende Neutrongas und die Ionen zu messen. Zum anderen werden die Elementhäufigkeiten wie Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff bestimmt und mit bekannten Häufigkeiten im Sonnensystem verglichen. Festzulegen sind zudem die Isotopenhäufigkeiten, also die Elemente mit der selben chemischen Zusammensetzung aber unterschiedlichen Massen. Ebenso gilt es, die Molekülzusammensetzung der Gase präzise zu definieren.

## Kooperation rund um den Globus

Dazu müssen sich die Projektpartner raffinierte Verfahren einfallen lassen. Ein Gemeinschaftswerk unter Leitung der Contraves Space AG mit der ETHZ, den Fachhochschulen Rapperswil und Biel sowie weiteren industriellen Partnern ist beispielsweise das DFMS, ein doppelt-fokussierendes Massenspektrometer hoher Massenauflösung für flüchtiges Material. Es ionisiert das Kometengas in der Ionenquelle, lenkt die Ionen durch ein elektrisches Feld, indem es die Energie selektiert und führt sie dann durch ein Magnetfeld. Eine von der Empa konzipierte Zoom-Optik vergrössert das Bild, das danach durch einen zweidimensionalen Detektor aufgenommen wird. Diese Detektoren steuern das BIRA-IASP (Belgian Institute for Space Aeronomy) in Brüssel und das IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) in St. Maur-Paris bei - ein weiteres Zeichen der starken internationalen Kooperation in diesem Projekt.

Unter Federführung der APCO Technologies SA und in enger Kooperation mit der Fachhochschule Fribourg, den Empa-Spezialisten für Metall-Keramik-Technologie und weiteren Partnern entstand das Flugzeitmassenspektrometer RTOF. Es ionisiert das Kometengas und beschleunigt die Ionen durch einen schnellen elektrischen Hochspannungspuls auf 3000 Volt. Dann werden die Ionen zwischen Reflektoren und Ionen Spiegel hin und her geschickt, und nach einer totalen Flugstrecke von fast vier Metern die Ankunftszeit auf Nanosekunden genau auf dem Detektor gemessen. Das RTOF weist einen sehr grossen Massenbereich auf und kann organisches Material wie polyaromatische Kohlenwasserstoffe mit hoher Empfindlichkeit messen. Ein happiger Brocken für die Entwicklungsingenieure war die nötige Hochvakuumtauglichkeit: Im Sensorinnern durften nur Metalle und Keramik zum Einsatz kommen, Kunststoffe oder organische isolierte Kabel waren tabu.

Eine besondere Herausforderung stellte auch das dritte und kleinste Instrument zur Druckmessung dar. Es soll sowohl den Totaldruck beim Annähern an den Kometen messen, als auch den Staudruck in Richtung Kometenkern über einen weiten Bereich von rund  $10^{-4}$  mbar bis weniger als  $10^{-11}$  mbar. Diese Daten sind wichtig, da sie Auskunft geben über das Koma des Kometen und die Zusammensetzung seines Kerns. Geradezu unverzichtbar werden sie für das Funktionieren der wissenschaftlichen Instrumente an Bord, wenn der Druck einen kritisch hohen Wert von rund  $10^5$  mbar erreichen sollte. Partner der Wahl für diese Entwicklung - die durch das ESA-PRODEX Programm und den SNF finanziert wurde - war das Team von Jörg Sekler, Leiter des Labors für physikalische Messtechnik & Sensorik, unterstützt von den Mechanik- und Elektronikwerkstätten - der Fachhochschule (HTA) in Bern.

## Ingenieurarbeit vom Feinsten

Die Gruppe von Joseph Fischer, Chefingenieur in der Abteilung von Frau Altwegg, bestehend aus Konstrukteuren, Mechanikern und Elektronikern, lösten die Probleme mit einem innovativen Systemdesign. Für ihren COPS - den Cometary Pressure Sensor - schufen sie einerseits eine nicht verkapselte Messröhre für

den Totaldruck, basierend auf einem modifizierten Bayard-Alpert-Drucksensor, mit zwei redundanten Filamenten zur Ionisation eingefangener Molekülteilchen. Ein Extraktionskollektor fängt mit einem dünnen Draht die ionisierten Neutralteilchen auf und übermittelt die kleinsten Messsignale der Elektronik. Die Messdurchführungen – platziert auf einem Vakuumflansch – müssen einen extrem hohen Isolationswiderstand aufweisen, da die Ionenströme nur Femto-Ampère betragen. Um die notwendige Langlebigkeit und Ausfallsicherheit zu garantieren, wurde eine redundante Konstruktion gewählt. Taucht ein Problem auf, kann man rasch von einem Heizdraht (Filament) zum anderen schalten.

Andererseits entstand eine Messröhre für den Staudruck, welche auf dem Extraktionsprinzip beruht. Darin ersetzen die Ingenieure das zerbrechliche Filament durch einen neuartigen MEMS-Microtip-Chip (MEMS = Micro-Electro-Mechanical System) mit Millionen von ‚Elektronenkanonen im Nanomassstab‘ um eine kalte Elektronenemission anzuregen. Eine rundliche Kuppel auf der Messröhre fängt Moleküle vom Kometen auf und gleicht ihre Energieverteilung aus, bevor sie den Analyseteil erreichen. Beide Sensoren sitzen auf einem Elektronikgehäuse mit drei Platinen, ein wesentlicher Beitrag der Montena Emc SA in Rossens. Die eine Leiterplatte liefert die elektrische Energie und die nötigen Potenzialniveaus von mehreren hundert Volt, die andere misst die sehr geringen Ionisierungsströme. Die dritte digitalisiert die analogen Daten und adaptiert sie, damit sie kompatibel sind mit Rosinas eigener Datenverarbeitungseinheit. Die auf dieser DPU installierte Daten-Vorverarbeitung ermöglicht Verifizierung, Korrektur und Reduktion des Datenvolumens, da die Übertragungskapazität zur Erde begrenzt ist und viel Zeit benötigt.

### **Cleverer Sensor dank MEMS-Technologie**

Die ‚innovativste Zutat‘ im COPS-Instrument ist zweifellos der MEMS-Chip. Dieser umfasst fast 2 Mio. metallene Microtip-Emitter auf einer Emissionsfläche von rund 10 x 10 mm<sup>2</sup>. Die einzelnen Microtips sind unterteilt in 32 x 36 unabhängig adressierbare Pixel. Jedes Pixel ist in 110 Gruppen von 16 einzelnen Tips angeordnet. „Die Fertigung der Elektronenemitter beruht auf der MEMS-Technologie. Das heisst, ein spezielles Glassubstrat wurde vom Hersteller so mit Mikrostrukturen geformt, dass darauf mit Dünnschichttechnologie winzigste Molybdän-Mikropyramiden entstanden“, erklärt Jörg Sekler. „Die Verschmutzung durch Staubteilchen und Moleküle während der heiklen Handhabung ist jedoch eine ständige Gefahr. Die Microtips müssen daher sorgfältig in Reinraumumgebung - die an der Uni Bern sowie in unserem FH-Labor vorhanden ist - gehandhabt werden.“

Der Einsatz von Microemittern zeigt im Vergleich zu anderen Gasionisationsprinzipien etliche Vorteile. Herkömmliche thermo-ionische Druckmessgeräte sind vergleichsweise einfacher im Aufbau, widerstehen jedoch nur bis zu einem gewissen Mass Schock und Vibration, verschlingen relativ viel Energie und haben eine eher beschränkte Lebensdauer. Dagegen gewährt der COPS-Microemitter eine sicherere Betriebsart, hat einen limitierten Energiebedarf und - wegen der Kaltmission - vor allem ein minimales Entgasen bei tiefsten Druckwerten. Ausserdem ist sein Sensor zuverlässiger.“

Mikrokomponenten für Weltraumanwendungen mit MEMS-Technologie zu miniaturisieren verlangt eine sorgfältige Wahl von Materialien und Verarbeitung. Es braucht Weltraum- resp. UHV-taugliche Werkstoffe. So kam eine ganze Palette von Materialien und Verfahren zur Anwendung, beispielsweise beim Bau der Staudruck-Messröhre: Zur Herstellung der Sensorprints wurde – zusammen mit der Metallux AG in Mendrisio – eine Kombination von Aluminium-Oxidkeramik mit Dickfilm-Metallisierung verwendet. Realisiert wurden in den Labs und Werkstätten der HTA Bern ebenso Teile aus schwierig zu bearbeitenden bzw. zu kombinierenden Materialien wie Niob und Titan, aber auch aus Aluminiumlegierungen und rostfreiem Stahl. Mit Unterstützung der Empa entstanden hochpräzise Gitter aus einer speziellen Wolframlegierung, gefertigt auf einer einzigartigen, CNC-gesteuerten Draht-Punktschweissmaschine. Viele Konstruktionsteile benötigten zudem spezielle Oberflächenbehandlungen, wie nickelfreies Vergolden und Ausheizen in einem Hochvakuumofen. Das Pflichtenheft des Berner Fachhochschullabors definierte die nötigen Massnahmen zur Qualitätssicherung, schrieb auch eine enge Zusammenarbeit mit externen Partnern vor. So wurden unter anderem Qualitätsanalysen bei Kollegen der Fachhochschullabors in Le Locle und St. Imier durchgeführt.

Zwar wurde COPS - wie auch die anderen beiden Instrumente des Rosina-Experimentes - auf der Versuchsanlage CASYMIR und anderen Einrichtungen an der Uni Bern erfolgreich geprüft, doch wird die Rosetta-Mission der erste Langzeittest für MEMS-Technologie im Weltraum sein. Für Jörg Sekler steht fest, dass MEMS-Komponenten inskünftig in Mikro- und Nanosatelliten zum Zuge kommen, da sie Kosten reduzieren, bei weniger Raumbedarf und Gewicht stets bessere Leistung bieten. Und schon wittert der Physiker Neuland für industrielle Anwendungen: „Derzeit arbeiten wir daran, den Technologietransfer in industrielle Produkte für Tiefdruckmessungen im UHV-XHV-Bereich vorzubereiten. Feldemissionsanordnungen als kalte Elektronenquellen bieten klare Vorteile für Analyseinstrumente in chemischer und Umweltdiagnostik sowie weiteren Anwendungen.“ Die Partnerschaft zwischen der grundlagenorientierten Uni-Equipe und dem anwendungsorientierten Fachhochschul-Team könnte sich in naher Zukunft für die Industrie in neuen Produkten auszahlen.

### **Das geplatzte Rendez-vous**

Ursprünglich war das Treffen der europäischen Kometensonde Rosetta mit dem Kometen Wirtanen geplant. Als jedoch Probleme mit der Ariane Trägerrakete den Start im Februar 2003 verhinderten, suchte die Europäische Raumfahrtagentur ESA nach einem neuen Missionsziel für die 1 Mia. € teure Rosetta-Kometensonde. Als Alternative bot sich der Komet Churyumov-Gerasimenko an, benannt nach Klim Churyumov und Svetlana Gerasimenko, die ihn im Oktober 1969 als Erste auf Fotos entdeckt hatten. Mit rund vier km Durchmesser ist er um etliches grösser als Wirtanen. Rosetta soll 2004 an Bord einer Ariane-V Rakete den Weltraum erreichen, dann ein paar Mal zwischen Erde und Mars hin- und herpendeln, um auf die nötige Annäherungsgeschwindigkeit zu kommen für das zweijährige Rendez-vous mit Churyumov-Gerasimenko im Jahr 2014.

### **Informationen**

#### **zum Rosina-Projekt:**

Professor Kathrin Altwegg-von Burg  
Abteilung Weltraumforschung & Planetologie  
Physikalisches Institut der Universität Bern  
Sidlerstrasse 5  
3012 Bern

Telefon 031 631 8611  
E-mail [altwegg@phim.unibe.ch](mailto:altwegg@phim.unibe.ch)  
Web [www.phim.unibe.ch/rosina/rosina.html](http://www.phim.unibe.ch/rosina/rosina.html)  
<http://sci.esa.int/home/rosetta/index.cfm>

#### **zu den MEMS-Technologien:**

Jörg Sekler  
Labor für physikalische Messtechnik / ISAG  
Berner Fachhochschule (HTA-BE)  
Morgartenstrasse 2c  
3014 Bern

Telefon Zentrale 031 335 5111 / direkt 031 335 5270  
E-mail [joerg.sekler@hta-be.bfh.ch](mailto:joerg.sekler@hta-be.bfh.ch)  
Web [www.hta-be.bfh.ch/space](http://www.hta-be.bfh.ch/space)

### **CTI Space Tech – Chance für innovative Schweizer KMU**

So klein unser Land ist – im ‚Abenteuer Raumfahrt‘ haben sich Schweizer Forschungsinstitutionen und Hightech-Firmen international einen Namen gemacht. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen von Schweizer Forschungsinstitutionen beteiligen sich in Weltraumaktivitäten, viele hoch spezialisierte Unternehmen, besonders kleinere und mittlere, tragen mit ihrem Know-how zum guten Gelingen von Raumfahrtmissionen bei. Die Schweiz ist Mitglied der ESA, der European Space Agency, öffnet damit Hochschulinstituten und Industriebetrieben die Beteiligung an den ESA-Programmen.

Um innovativen Projekten mit einer klaren kommerziellen Ausrichtung im Bereich der Weltraumtechnologien rasch zum Durchbruch zu verhelfen, lanciert die KTI – die Agentur für Innovation des Bundes – anfangs 2004 die Initiative *CTI Space Tech*. Dieser Anschlag soll öffentlichen Forschungsinstitutionen und Unternehmen der Privatwirtschaft Anreize geben, sich in KTI-Kooperationen zu engagieren und neue Technologien für den Weltraum auf den Markt zu bringen. Entsprechend der KTI-Förderpolitik bestimmen die Projektpartner selbst das Thema ihrer Zusammenarbeit nach dem bottom-up-Prinzip. Die gemeinsamen Projekte fördern den Technologietransfer und unterstützen, junge Menschen mit zukunftssträchtigen Ideen auszubilden. Ziel von KTI Space Tech ist es, die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft zu stimulieren und – eventuell auch durch Firmengründungen - neue, hoch qualifizierte Arbeitsplätze zu schaffen.

Offizieller Startschuss für CTI Space Tech ist der 1. Januar 2004. Schon jetzt können Projekte eingereicht werden. Sieben Beitragsgesuche sind derzeit (November 2003) in Evaluation.