

## Landung auf einem Kometen: Simulationen mit SIMPACK für den RosettaLander

Zu den faszinierendsten Objekten in unserem Sonnensystem gehören die Kometen. Die Menschen erkannten schon früh das Ungewöhnliche dieser Schweifsterne, mehrfach wurde ihr Erscheinen als Vorbote von ungewöhnlichen Vorkommnissen angesehen. Von der heutigen Naturwissenschaft werden Kometen auch als Boten interpretiert, als Boten geformt aus der Urmaterie bei der Entstehung unseres Planetensystems vor Milliarden Jahren. Die ESA (European Space Agency) plant deshalb eine Satellitenmission mit dem Namen "Rosetta". Der Name wurde in Anlehnung an den Stein aus Rosetta bei Alexandria gewählt, mit dessen Hilfe vor bald 200 Jahren die Hieroglyphenschrift der alten Ägypter von dem französischen Gelehrten Champollion entziffert wurde. Mit Hilfe der geplanten Satellitenmission will man auch die Urmaterie unseres Planetensystems „entziffern“. Das wissenschaftliche Ziel der Mission ist die Erforschung des Kometen P/Wirtanen und die Durchführung von Messungen, welche dazu beitragen, unser Wissen über die Entstehung unseres Sonnensystems maßgeblich zu vertiefen. Zur Auslegung des diffizilen Landungsmechanismus wurde SIMPACK verwendet.

*M. Hilchenbach, B. Chares, O. Küchemann (Max Planck Institut für Aeronomie, 37191 Katlenburg-Lindau)*

### Die Mission

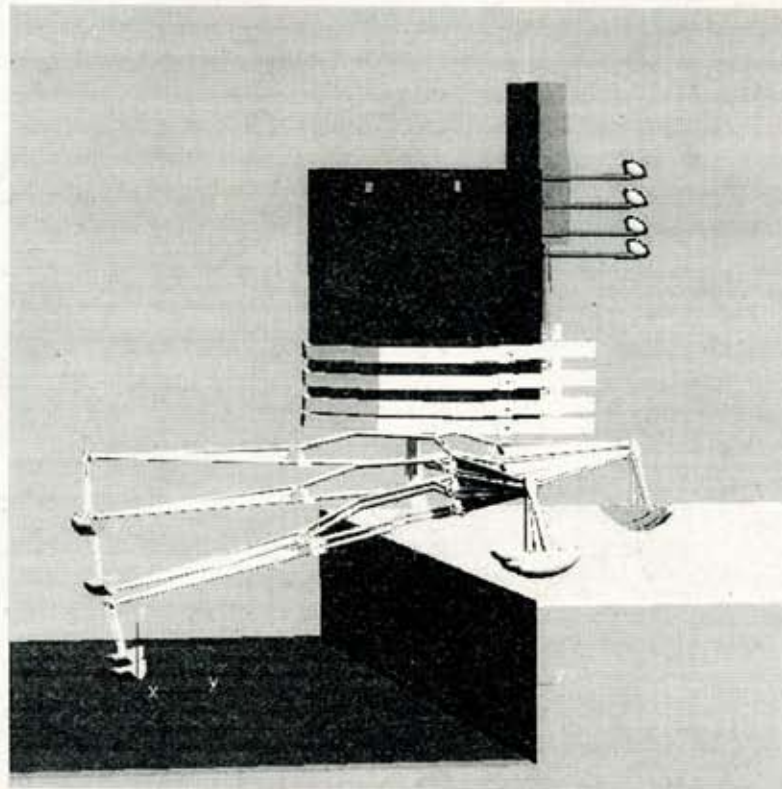
Der Satellit Rosetta wird im Jahre 2003 mit einer Ariane 5 gestartet werden und im Jahre 2011 in eine Umlaufbahn um den Kometen einschwenken. Rosetta wird dabei einen kleinen Subsatelliten (RosettaLander) mit sich führen, welcher aus der Umlaufbahn heraus auf dem Kometen landen und dort wissenschaftliche Messungen durchführen wird. Nur so ist eine direkte Analyse des Kometenmaterials möglich, von dem wir bisher nur indirekte Beobachtungen haben und uns so die Kometen geformt aus einem amorphen Staub-Eis Gemisch vorstellen. Es wird die Oberfläche fotografiert (bis hin zu mikroskopischen Aufnahmen) und die Zusammensetzung des Kometenmaterials hinsichtlich der Elemente als auch der Isotope bestimmt werden. Sogar unter die Kometenoberfläche kann mittels Bohrer oder Mikrowellen Tomographie gespäht werden.

### Die Landeeinheit

Dieser RosettaLander wird von einem europäischen Konsortium unter deutscher Leitung in enger Zusammenarbeit mit der ESA geplant, konstruiert und gebaut. Er wiegt 75 kg und ist annähernd ein Meter hoch. 25 kg sind den wis-

senschaftlichen Experimenten und Meßgeräten zugeordnet. Die anderen 50 kg setzen sich zusammen aus z.B. der tragenden

gung, einem Stabilisierungskreislauf und dem Landegestell bestehend aus Dreibein, Anker, Kardangelen und Dämpfungsein-



Struktur (Materialien mit hoher Festigkeit bei geringem Gewicht wie Aluminium bzw. Kohlenstoff Fiber Komposita), Zentralrechner und Kommunikationseinheiten zum Datentransfer, Solarzellen und Batterien zur Stromversor-

heit. Die Zuverlässigkeit des gesamten Systems wird durch umfangreiche Qualifizierungsprogramme basierend auf Qualifizierungstests und Modell-Simulationen gewährleistet.

Eines der wichtigsten Qualifizierungsprogramme innerhalb der sog. Missionsanalyse ist die Gewährleistung der sicheren Landung des RosettaLanders auf dem Kometen. Die Landung ist vergleichbar mit einem Fall aus 1 bis 2 cm Höhe auf der Erde, jedoch ist die Gravitation des Kometen (Radius 700m) etwa nur ein 10 Millionstel der Erdbeschleunigung. Der RosettaLander muß also nicht nur sicher aufsetzen, sondern es muß auch sichergestellt werden, daß er auf der Kometenoberfläche stehen bleibt.

#### Das Simulationsmodell

Aus der Pro/ENGINEER Konstruktionsdatei des RosettaLanders sind die Geometrie und Gelenke, die Massenverteilung und Trägheitsmomente auf dem Stand des aktuellen Designs vorgegeben. Das SIMPACK-Modell ließ sich weitgehend automatisch aus der Konstruktionszeichnung erstellen. ProSIM unterstützt zudem eine simultane Weiterentwicklung der Konstruktion und des Simulationsmodells, weil die Datenbestände automatisch

abgeglichen und auf dem jeweils neuesten Stand gehalten werden. Die Kometenoberfläche wird in SIMPACK durch einseitig wirkende Federkraftelemente zwischen dem Untergrund und den Landekufen beschrieben. Eine Kontaktkraft ergibt sich erst, wenn die Kontaktelemente beginnen, sich zu durchdringen. Durch die Positionierung der beschriebenen Federkraftelemente läßt sich eine beliebige Kometenoberfläche wiedergeben. Durch eine Variation der Marker-Lage der Kontaktelemente auf der Kometenoberfläche, deren genaue Beschaffenheit nicht bekannt ist, konnte die Konstruktion auf einen sicheren Landevorgang hin optimiert werden.

Das beschriebene Simulationsszenario der Landung stellt hohe Anforderungen an die numerischen Integrationsverfahren, weil der freie Fall zugunsten niedriger Rechenzeiten mit hoher und der Kontaktvorgang auf Grund der notwendigen Genauigkeit mit kleiner Schrittweite berechnet werden müssen. Auf Grund der in SIMPACK verfügbaren Root-

Funktionen ließ sich die Integration mit dem Verfahren ODASSL ohne eine Beschränkung der maximalen Schrittweite und damit sehr schnell durchführen.

Die Abbildung auf der vorhergehenden Seite zeigt eine stroboskopische Bilderfolge des SIMPACK-Modells des RosettaLanders während der Landung auf einer „Stufe“ auf der Kometenoberfläche (Zwischen den einzelnen Aufnahmen liegen jeweils 0.03 sec). Die Auswertung der Simulationen zeigt beispielsweise, welche Anteile der anfänglichen kinetischen Energie gedämpft werden, welche noch in kinetischer Energie vorliegen und welche in Rotationsenergie umgewandelt worden sind. Laborqualifikationstests können mit dem SIMPACK Modell verglichen werden (einzige Änderung: die Gravitation ist dann natürlich gleich der Erdbeschleunigung). Als nächste Modellverfeinerung der Simulation werden wir den NASTRAN Datensatz der Struktur in die SIMPACK Simulation einfließen lassen.

# intec

Ingenieurgesellschaft für neue Technologien GmbH

Münchener Straße 20  
D-82234 Wessling  
Tel.: +49-8153-28 24 70  
Fax.: +49-8153-28 18 50  
Email: [intec@dlr.de](mailto:intec@dlr.de)  
HTTP: [pci1.df.op.dlr.de/intec.html](http://pci1.df.op.dlr.de/intec.html)  
FTP: [www.simpack.de](http://www.simpack.de)

SIMPACK Version 7, FEMBS, BEAM (1997 DLR)  
ANSYS ist Warenzeichen von Swanson Analysis Systems, Inc.  
NASTRAN ist Warenzeichen von MacNeal-Schwendler Corporation  
ABAQUS ist Warenzeichen von Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.  
MARC ist reg. Warenzeichen der MARC Analysis Research Corporation  
MATLAB ist reg. Warenzeichen von The MathWorks, Inc.  
MATRIXx ist Warenzeichen von Integrated Systems, Inc.  
Pro/ENGINEER ist Warenzeichen von Parametric Technology Corporation  
CATIA ist Warenzeichen von Dassault Systems

SIMPACK News

INTEC GmbH  
Redaktion: Johannes Gerl  
Auflage: 1200  
1996-1997