

Cluster: Eine Legende macht Wissenschafts-Karriere



Die Cluster-Sonden im Formationsflug

(Artikel von 2-2001) Nahezu 20 dramatische Jahre sind von der Ideenfindung im Jahre 1982 bis zur orbitalen Umsetzung der anspruchsvollen Cluster-II-Cornerstone-Mission der Europäischen Raumfahrtorganisation ESA vergangen. Nach den erfolgreichen Doppelstarts am 16. Juli und 9. August 2000 sowie der Erprobung und Inbetriebnahme der 44 Bordgeräte können nun die solar-terrestrischen Erscheinungen dreidimensional mit hoher Zeitauflösung erfasst werden. Am 1. Februar 2001 wurde die Ampel zur Datenautobahn Sonne - Erde dauerhaft auf "grün" gestellt. Damit beginnt für die Forscher aus 22 Staaten der langersehnte wissenschaftliche Routinebetrieb des Cluster-II-Quartetts.

Mit der am 1. Februar 2001 vollzogenen Übergabe der Cluster-II-Satelliten Salsa, Samba, Tango und Rumba an die Wissenschaft endet zugleich eine wechselvolle Zeitreise der Gefühle. Eng mit dem Missionsnamen verbunden ist Westeuropas größte Weltraumkatastrophe. Am 4. Juni 1996 explodierte in Kourou Europas Schwerlastträger Ariane 5 bei seinem Jungfernflug mit dem ersten Cluster-Quartett. Entsetzt mußten Wissenschaftler, Techniker, Ingenieure mitansehen, wie sich über zehn Jahre harte Arbeit in einem glühenden Feuerregen auflösten.



Start eines Cluster-Paares von Baikonur

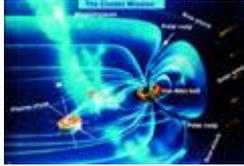
Wie Phönix aus der Asche

Der Einzigartigkeit des Cluster-Projektes ist zugleich seine Wiedergeburt zu verdanken. Bereits einen Monat nach dem Totalverlust beschloß die ESA, aus den noch vorhandenen Ersatzteilen wenigstens einen Satelliten nachzubauen, Phönix. Wie der mythische Vogel, so sollte Cluster auf diesem Weg aus der Asche auferstehen.

Doch die Wissenschaftler wollten mehr und die Kassen waren knapp. Am 3. April 1997 gelang der ESA der Durchbruch. Sie beschloß, durch das Ausschöpfen aller denkbaren Reserven den Nachbau der vier Cluster-Satelliten zu realisieren. Die Industrie gewährte Sonderkonditionen. Wie Cluster I, die Sonnensonden Ulysses und Soho, so entstand auch die Cluster-II-Satellitenflotte unter Federführung der Dornier Satellitensysteme (heute: Astrium). Fast 60 Firmen aus Europa und den USA waren an der Realisierung beteiligt. Aus Kostengründen verzichtete die ESA auf eine Ariane-5-Trägerrakete, die 200 Mill. DM gekostet hätte und entschied sich vielmehr für zwei Sojus-Doppelstarts, die das französisch-russische Konsortium Starsem für zusammen 65 Mill. Euro, 127 Mill. DM, offerierte.

Die ESA bewies hier viel Mut, denn die notwendige manövrierfähige Fregat-Oberstufe zum präzisen Einschub der Nutzlasten war noch nicht entwickelt und allein war die Sojus nicht in der Lage, die Satelliten in eine ausreichende Höhe zu transportieren. Aus dem Ariane-501-Schaden klug geworden, knüpfte die ESA daher die Bedingung an zwei erfolgreiche Qualifikationsflüge. Diese fanden am 9. Februar sowie 20. März 2000 statt. Damit war die

letzte Wiedergeburtshürde genommen. Keine andere ESA-Mission ist deshalb derart zum Synonym des Hoffens, Bangens und Zitterns geworden, hat multikulturelle Wissenschafts-"Ehen" geschmiedet und phantastische Teams zusammengeschweißt. Ohne die erneute jahrelange Hingabe und den Teamgeist Hunderter von Wissenschaftlern und Ingenieuren wäre der Cluster-II-Erfolg nicht möglich gewesen.



Die verschiedenen Gebiete der Magnetosphäre

Die Sonne-Erde-Connection

Bei der Untersuchung räumlich ausgedehnter Gebiete steckt die Forscherwelt in einem fortwährenden Dilemma: Es ist äußerst wichtig, zeitliche von räumlichen Variationen deutlich unterscheiden zu können. Realisiert man diese Forderung nach dreidimensionaler Raum-Zeit-Erfassung im Weltall, so sind vier baugleiche Raumsonden notwendig. Diese Grundidee liegt auch der Cluster-Mission zugrunde, mit der die Beziehungen Sonne - Erde erforscht werden sollen.

Über eine Million Tonnen Materie verliert die Sonne in jeder Sekunde. Von der Sonne gelangt hierbei ein permanenter Plasma-Strom elektrisch geladener Teilchen in den interplanetaren Raum. Dieser "Sonnenwind" trifft, je nach Partikelart, mit Geschwindigkeiten bis zu 1000 km/s auf die Erde. Das irdische Magnetfeld wiederum erstreckt sich weit in den Weltraum hinaus und schützt unseren Planeten wie ein unsichtbarer Käfig weitestgehend vor den schädlichen Auswirkungen dieses Teilchenbombardements.

Trotz des Schutzes schaffen es die Plasmaströme der Sonne immer wieder, in die Erdmagnetosphäre einzudringen. Das führt zu einer Fülle höchst komplizierter elektrodynamischer Erscheinungen. Felder und Teilchen dringen sogar bis in die Lufthülle vor und verursachen nicht nur farbenprächtige Naturschauspiele, wie beispielsweise Polarlichter. Sie sind auch verantwortlich für Störungen des Funkverkehrs, für Stromausfälle und Zusammenbrüche von Hochspannungsnetzen. Bei dem schwersten kosmischen Sturm des 20. Jahrhunderts, am 13./14. März 1989, kam es sogar zum Ausfall einer Chip-Produktionsstätte in den USA und zu heftigen Spannungsschwankungen in Unterseekabeln des Atlantik und Pazifik.

Weltraum-Wetter-Wacht

In Anbetracht der Tatsache, dass sich der elfjährige Sonnenzyklus beständig wiederholt, werden derartige geomagnetische Stürme als Folge ungewöhnlich heftiger Sonnenaktivität auch in Zukunft immer wieder auftreten. Aber mit steigender weltweiter Technisierung dürften die Schäden global zunehmen. Möglicherweise beeinflussen die kosmischen Vorgänge auch das irdische Klima. Es wird deshalb immer dringender, solche Ereignisse frühzeitig zu erkennen, um Vorsichtsmaßnahmen einleiten zu können. Eine Weltraumwetter-Vorhersage ist aber nur dann möglich, wenn man den gesamten Ablauf während eines Sonnensturms versteht.

Um diese solar-terrestrischen Zusammenhänge erkennen zu können, werden im Rahmen des International Solar-Terrestrial Physics Program (ISTP) seit 1992 von den Raumfahrtagenturen Europas, Japans, Russlands und der USA an unterschiedlichen Stellen in- und außerhalb der Erdmagnetosphäre Raumsonden plaziert. Das betrifft bisher die Satelliten Geotail (Japan/USA), Akebono und Yohkoh (Japan), Wind, Polar, Fast und ACE (USA), Interball (Russland), Equator-S (DLR), Ulysses sowie Soho und Cluster (ESA/NASA). Diese internationale Armada von Raumsonden will sowohl die Sonne selbst als auch den von ihr ausgehenden Wind und seine Wechselwirkungen mit der irdischen Atmosphäre erfassen.



Die Sonnensonde Soho

Primus inter pares

Cluster genießt in diesem Rahmen eine Sonderstellung, ist "primus inter pares". Die vier absolut baugleichen Satelliten mit je elf Feld- und Teilchen-Instrumenten erfassen erstmals die dynamischen Vorgänge in der Erdmagnetosphäre sowohl räumlich als auch in hoher zeitlicher Auflösung. Baugleich deshalb, um die erhaltenen Daten wirklich zweifelsfrei miteinander vergleichen sowie systembedingte Fehlerquellen erkennen und ausmerzen zu können. Jeder Satellit ist hierzu mit zwei Antennenauslegern, zwei 5 m langen Experimentauslegern und vier 41 m langen Experiment-Drahtauslegern ausgestattet.

Die Umlaufbahnen der Cluster-Satelliten verlaufen über den beiden Erdpolen, wobei der Abstand zur Erde zwischen 19 000 und 119 000 km variiert. Sie durchqueren die unterschiedlichsten Bereiche der Erdmagnetosphäre und der Strahlungsgürtel. Das Quartett ist dabei in einer Tetraederform angeordnet, bei der alle Satelliten den gleichen Abstand zueinander haben. Während die mit der Erde umlaufende Magnetosphäre stets in Sonnenrichtung orientiert ist, wandern die Satellitenbahnen zusammen mit der Erde um die Sonne. Auf diese Art und Weise erfaßt das Cluster-Quartett im Verlauf eines Jahres alle erdnahen Bereiche der Magnetosphäre von der sonnenzugewandten Bugstoßwelle bis zum sonnenabgewandten Magnetosphärenschweif. Je nachdem, wie wichtig oder interessant die jeweiligen Bereiche sind, können dann auch die Satelliten-Abstände zueinander zwischen 200 bis 18 000 km variiert werden.

Das in Erdnähe operierende Cluster-Quartett bildet darüber hinaus mit dem in einer Sonnenumlaufbahn befindlichen Sonnenobservatorium Soho eine wissenschaftliche Einheit, die aufeinander abgestimmte Beobachtungen vornimmt. Wenn Soho auf der Sonne einen starken Ausbruch beobachtet, sollen die Cluster-Satelliten anschließend verfolgen, wie sich der dabei entwickelnde Teilchenstrom auf die Erdmagnetosphäre auswirkt.



Kontrollraum im ESOC

Steuer- und Überwachungszentrale ESOC in Darmstadt

Das in Darmstadt gelegene Europäische Raumfahrt-Kontrollzentrum ESOC steuert und überwacht die vier Cluster-Satelliten in allen Missionsphasen. Spezialistenteams des ESOC haben gemeinsam mit den Wissenschaftlern nacheinander alle 44 Geräte von Salsa, Samba, Tango und Rumba überprüft und in Betrieb genommen. Zwei Instrumente können momentan noch nicht operationell genutzt werden. Es handelt sich hierbei um das Ionen-Massenspektrometer (CIS) auf Samba sowie um eine Vorrichtung zur Reduzierung und Stabilisierung des Spannungspotentials am Satelliten (ASPOC) auf Salsa. Beide Ausfälle beeinträchtigen keinesfalls die Gesamtmission, da ihre Daten durch Interpolation der Meßergebnisse der verbleibenden drei Satelliten gewonnen werden können.

Im Dezember 2000 führte das ESOC eine Cluster-Interferenzkampagne durch. Dabei wurden alle Geräte eingeschaltet, um zu horchen, ob ein Instrument Einfluß auf ein anderes ausübt. Nach einer nochmaligen endgültigen Projektüberprüfung am 1. Februar 2001 steht das Cluster-Quartett nunmehr der weltweiten Forschergemeinde zum wissenschaftlichen Routinebetrieb zur Verfügung. Endlich kann die langersehnte Wissenschafts-Ernte eingefahren werden.

Cusp-Crossing

Parallel zur Überprüfung der 44 Geräte wurden die Umlaufbahnen und Positionen der vier

Cluster-Satelliten so verändert, dass das Quartett im Dezember 2000 bereits die sogenannte Cusp-Stellung erreicht hat. Eine Konstellation, die den Wissenschaftlern im Februar/März 2001 ihr erstes großes Highlight bringen dürfte.

Die Polar-Cusp stellt eine äußerst interessante Region in hohen magnetischen Breiten und mit besonders starker Wechselwirkung zwischen Erdmagnetfeld und Sonnenwind dar. Sie ist eine pulsierende Schnittstelle, die Magnetfeldlinienbereiche sowohl zeitlich als auch räumlich trennt. Tagseitig schließen sich hier die Magnetfeldlinien, nachtseitig gehen sie in den Magnetosphärenschweif über. Die Cusp-Region ist auch jenes Gebiet, in das energetische Teilchen aus dem interplanetaren Raum nahezu mühelos in die Magnetosphäre und Atmosphäre der Erde gelangen können. Während des etwa zweimonatigen "Cusp-Crossings" - des Formationsfluges der vier Raumsonden in nahezu idealer Tetraederform mit einem Satellitenabstand von 600 km zueinander - werden vor allem die zeitlichen Variationen der solar-terrestrischen Beziehungen erfaßt.

Aufgrund der Gesetze der Himmelsmechanik bleibt eine einmal erreichte Konstellation nicht automatisch erhalten. Die Idealform des Tetraeders ist daher nur zu den Sonderkonstellationen - Cusp- und Tail-Crossing - geplant. Beim Tail-Crossing, dem Cusp-Gegenstück, befindet sich das Cluster-Quartett voraussichtlich im Oktober/November 2001 im Tail, dem sonnenabgewandten Teil des Magnetfeldes. Bei diesem Highlight ist ein Satelliten-Abstand von 2000 km vorgesehen. Im Visier der Cluster-Späher steht hier auch der nachtseitig auftretende magnetosphärische Teilsturm. Das ist ein Phänomen, das zu einem Kollaps des Magnetosphärenschweifes ähnlich den Schweifabtrennungen bei Kometen führt.



Schnittbild einer Cluster-Sonde

Solarer Big Brother

Aber schon zu Beginn des Routineprogramms wird die Cluster-Flotte mit einer einzigartigen Eklipsen-Saison konfrontiert. Vom 14. Februar bis zum 14. März erlebt das Quartett eine Reihe von Sonnenfinsternissen. Die zwischen Sonne und Raumsonden stehende Erde unterbricht die solare Stromversorgung der Satelliten, so dass der Experimentbetrieb über Batterien gewährleistet werden muß. Dadurch können auch in dieser jeweils maximal einstündigen Finsternisphase die solar-terrestrischen Daten komplett erfaßt werden. Cluster, dem solaren Big Brother, entgeht somit nichts.

Im Mai beginnt eine Serie von Konstellationsmanövern, bei denen die Satellitenabstände ständig verändert werden. Die ESOC-Spezialisten müssen in komplizierten Verfahren die Cluster-Flotte langsam zur Tail-Position führen. Dabei unterliegt die Form des Tetraeders einem höchst dynamischen Wandel.

Das neue ESA-Star-Quartett

Viele offene Fragen, die auch für das tägliche Leben von existenzieller Bedeutung sein können, harren der Beantwortung. Die Ausgangsposition ist hervorragend: Das Cluster-Quartett wird für mindestens zwei Jahre die genauesten solar-terrestrischen Daten liefern und damit "Einblicke ermöglichen", so prophezeit ESA-Wissenschaftsleiter Roger Bonnet, "die unser Verständnis des erdnahen Weltraums revolutionieren dürften." Trotz mehrjähriger "Verspätung" kommen Salsa, Samba, Tango und Rumba zur rechten Zeit, denn die Sonnenaktivität hat ihr Maximum erreicht. Die Chancen einer steilen Wissenschaftskarriere des legendären Cluster-Quartetts stehen damit ausgezeichnet.

Related links

- Cluster overview (http://www.esa.int/esaSC/120383_index_0_m.html)
 - Starsem (<http://www.starsem.com>)
-