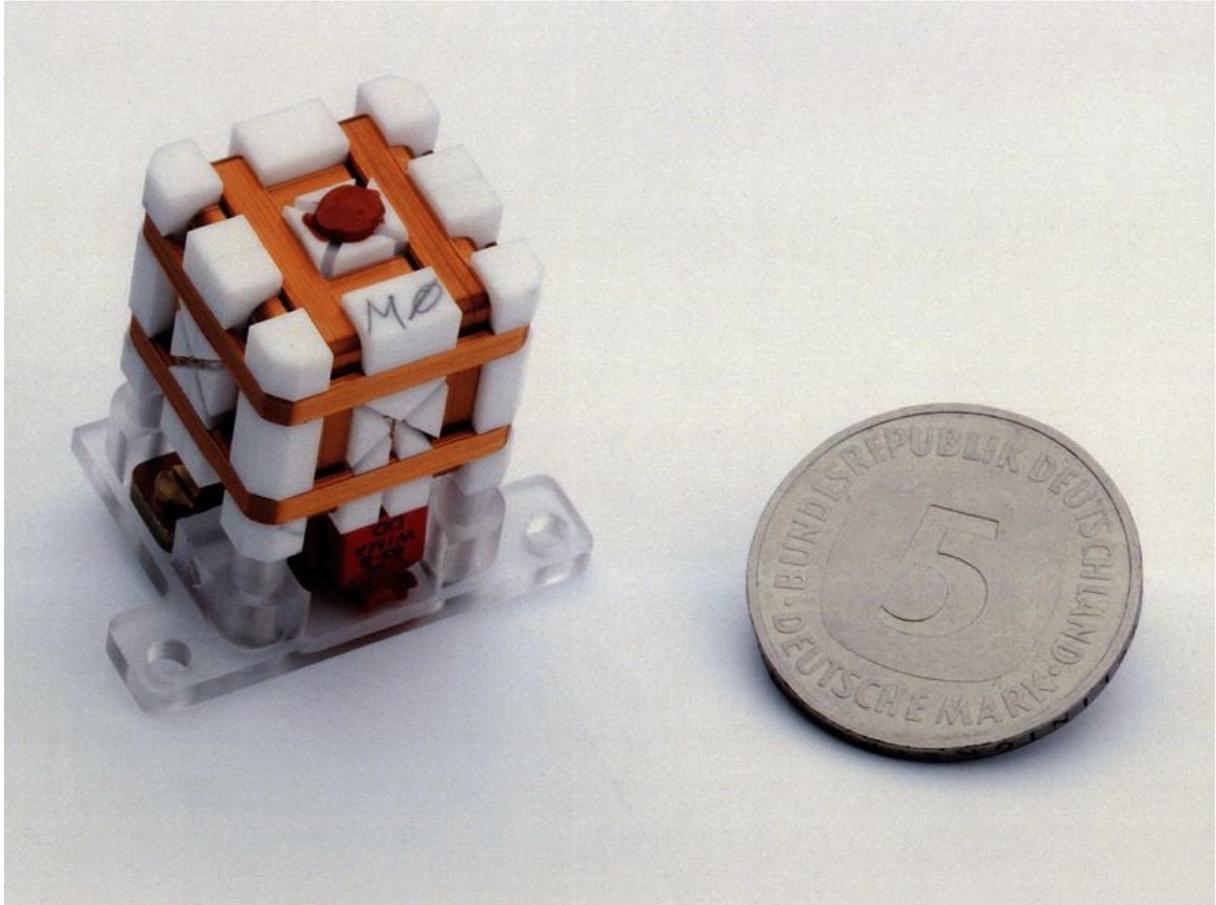


ROSETTA
RPC-Magnetometerexperiment
FK: 50QP 9702/5

Abschlußbericht
vorgelegt von

Andrea Diedrich, Karl-Heinz Glaßmeier
und Ingo Richter

März 2005



**Der RPC-Fluxgate-Magnetometersensor
des
Instituts für Geophysik und extraterrestrische Physik
der
Technischen Universität Braunschweig
auf dem
ROSETTA Orbiter**

Inhaltsverzeichnis

Prolog – Aufbruch zum Rand des Sonnensystems

- 1. Einführung**
- 2. Wissenschaftliche Zielsetzung**
- 3. Instrumentbeschreibung**
- 4. Das Magnetische Reinheitsprogramm**
- 5. Sensor-Kalibrierung**
- 6. User Manual und Archivierung**
- 7. Commissioning Ergebnisse**
- 8. Der Draconiden-Durchflug**
- 9. Anlagen**

Aufbruch zum Rand des Sonnensystems*

Als während der Besetzung Ägyptens durch Napoleon im Juli des Jahres 1799 in Rashid (auch Rosetta oder Rosette), einer Stadt in Unterägypten am Nilmündungsarm im Nil-Delta, der heute nach seinem Fundort benannte Rosetta-Stein von dem französischen Offizier Pierre Francois Xavier Bouchard gefunden wurde, begann für die Ägyptologie ein neues Zeitalter. Denn der aus dem Jahre 196 v.Chr. stammende Stein zeigt einen Gesetzestext in drei Sprachen: im oberen Bereich in ägyptischen Hieroglyphen, in der Mitte in demotischer Schrift und im unteren Bereich in Griechisch. Damit gelang es, die Bedeutung der ägyptischen Hieroglyphen zu enträtseln.

Die ägyptische Sprache zu verstehen und damit das Tor zur Kultur des alten Ägyptens zu öffnen, ist vergleichbar dem Anliegen, die Entstehung unseres Sonnensystem mit seinem Zentralgestirn, seinen Planeten und Monden zu verstehen. Mit Immanuel Kant geht auch die heutige Wissenschaft davon aus, dass letztlich aus einer gravitierenden Staubscheibe alle Körper unseres Sonnensystems entstanden sind. Wesentliche Details dieses Bildungsprozesses sind aber immer noch unverstanden und die Entstehung unseres Sonnensystem ist weiterhin eine ungeklärte Frage.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Frage nach den Eigenschaften des Urmaterials, aus dem unsere Erde und die anderen Planeten entstanden. Die Frage mag verwundern, könnte man sich doch einfach bücken, vom Acker eine Handvoll Erde aufnehmen und sagen: „Hier ist der Urstoff.“ Der es sich so einfach machte irrt, denn unsere Erde ist ein differenzierten Körper. Ehemals schwere Bestandteile, vornehmlich Eisen, sind in der glutflüssigen früher Erde nach Innen abgesunken, leichte Bestandteile nach Oben aufgestiegen, haben sich teilweise auch verflüchtigt, während oberflächennahe Gesteine durch Verwitterungsprozesse verändert wurden oder durch die biologischen Prozesse überformt wurden. Die Erde ist ein differenzierter Körper.

Wie kann man sich nun aber Zugang zum Urmaterial verschaffen? Kometen sind nach allgemein anerkannter Auffassung das Tor zum Verständnis unseres Sonnensystem und können daher eine ähnliche Rolle für die Planetologie spielen wie der Rosetta-Stein. Kometen sind große Eisklumpen, Mischungen aus Wassereis, Staub und Kohlendioxid. Uns bekannte Durchmesser dieser kosmischen Boten liegen bei einigen Kilometern. Sie haben ihren Ursprung am äußersten Rand des Sonnensystems, in der nach dem niederländischen Astronom benannten Oortschen Wolke, in der sich in einem Abstand von einigen zehntausend astronomischen Einheiten (eine astronomische Einheit entspricht dem Abstand Erde-Sonne, d.h. 150 Millionen Kilometer) Milliarden von Kometen befinden, so die Hypothese. Bedingt durch Bahnstörungen, hervorgerufen durch vorbeiziehende interstellare Wolken, werden diese Urkörper in das Innere unseres Sonnensystems geschleudert, wo sie als Kometen auch dem menschlichen Auge erkennbar werden. Als Urkörper darf man die Kometen betrachten, da sie am äußersten Rande des Sonnensystems entstanden sind, in einer Region mit Temperaturen nur wenig oberhalb der kosmischen Temperatur von 3 Kelvin. Keinerlei Differenzierung ist unter solchen Bedingungen mehr möglich. Und einmal entstanden, bleiben Kometen was sie sind: Boten vom Rand unseres Sonnensystems.

Einen solchen Boten zu besuchen, das ist das Ziel der europäischen Weltraummission ROSETTA, benannt nach eben dem Stein, der uns das Tor zur alten ägyptischen Kultur

*Vortrag gehalten am 11. Juni 2004 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

geöffnet hat, Ziel dieser Mission ist es, den Kometenkern zu erforschen, seine Form und Rotation, seine Oberfläche und innere Struktur, seine Massendichte und stoffliche Zusammensetzung. Aber nicht nur dieser Kern interessiert als Bote vom Rande des Sonnensystems, sondern auch seine Wechselwirkung mit dem Sonnenwind, eine Plasmaströmung, die ständig von der Sonne ausgeht und mit der jeder planetare Körper wechselwirkt. Es ist gerade diese Wechselwirkung, die zur Ausbildung des dem menschlichen Auge sichtbaren Kometenschweifes führt und in der Umgebung des Kometen ein natürliches Plasmalaboratorium entstehen lässt, das auch Ziel der wissenschaftlichen Nutzlast ROSETTAs ist.

Mit Abmessungen von $2.8 \times 2.1 \times 2.0 \text{ m}^3$ ist das ROSETTA Raumschiff etwa so groß wie ein Schiffscontainer. Die Trockenmasse liegt bei 1330 kg und als Treibstoff können 1670 kg Hydrazin mitgeführt werden. Die wissenschaftliche Nutzlast liegt bei 165 kg und das ebenfalls mitgeführte Landegerät PHILAE wiegt etwa 100 kg. Die Energieversorgung wird durch zwei jeweils 64 m^2 umfassende Solarpanele gewährleistet, die in Erdenähe eine Leistung von 9800 Watt aufweisen und in einem Abstand von 750.000.000 km immerhin noch 395 Watt liefern. Die wissenschaftlichen Daten werden mit einer Rate von bis zu 22 kbit/s zur Erde gefunkt, um dort ausgewertet zu werden. Mehr als 50 wissenschaftliche Institute aus 14 verschiedenen Länder sind an dieser Mission beteiligt und teilen sich die Kosten von über 700 Millionen €. Über 600 Wissenschaftler aus über 150 Institutionen waren/sind und werden letztlich an diesem Projekt beteiligt sein.

Der Start der Sonde erfolgte am 2. März 2004 von Kourou (Französisch Guayana) aus. Das Ziel der Mission ist der Komet 67p/Churyumov-Gerasimenko, ein Komet mit einem Kerndurchmesser von etwa 3 km, der im Sommer 2014 erreicht werden soll. Ähnlich lang wie der Flug zum Kometen dauerten auch die Vorbereitungen für diese Mission. Schon bald nach dem sehr erfolgreichen Vorbeiflug der europäischen Raumsonde GIOTTO am Kometen Halley im März 1986 entwickelten europäische Wissenschaftler die Idee, einen weiteren Kometen zu besuchen und dort insbesondere auch ein Landegerät an der Oberfläche abzusetzen. Nach jahrelangen Vorbereitungen und vielen Vorstudien zur Machbarkeit eines solchen Projektes entschied sich das Science Programme Committee der European Space Agency (ESA) das ROSETTA-Projekt aus der Taufe zu heben. Der Auftrag an die europäische Industrie, den Satelliten zu fertigen, wurde im März 1997 erteilt. Im Jahr vorher wurde ein Wettbewerb um die wissenschaftliche Nutzlast international ausgeschrieben. Die Auswahl der Experimente erfolgte nach eingehender Begutachtung der eingereichten Experimentvorschläge durch ein international besetztes Expertengremium im Sommer 1997. Unter den ausgewählten Experimenten befanden sich auch zwei Magnetometer für den Orbiter und für das Landegerät PHILAE, die vom Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik der Technischen Universität Braunschweig vorgeschlagen worden sind. Im September 2002 war es dann so weit: der ROSETTA-Satellite wurden mit integrierten Experimenten und dem Landegerät nach Kourou zum Startplatz verschifft. Der ursprünglich für den Januar 2003 geplante Start zum Kometen Wirtanen musste aus technischen Gründen verschoben werden, was die Auswahl eines neuen Missionszieles erforderlich machte. Als neues Ziel wurde der bereits erwähnte Komet 67p/Churyumov-Gerasimenko ausgewählt. Nach erfolgreichem Start am 2. März ist ROSETTA nun auf seinem Weg.

Die wissenschaftliche Nutzlast umfasst eine Vielzahl von beobachtenden Experimenten: hochauflösenden Kameras, die im optischen und infraroten Frequenzbereich arbeiten, abbildende UV- und Infrarot-Spektrometer, Mikrowellen- und Massenspektrometer, Staubanalysatoren, ein Radiowellenexperiment zur Bestimmung z.B. der Kometenmasse und

ein umfangreiches Analysepaket für das Plasma in der Kometen-Sonnenwindwechselwirkungsregion, das vom ROSETTA Plasma Consortium beigestellt wurde, einem Konsortium, an dem auch die TU Braunschweig intensiv beteiligt ist. Auch das Landegerät PHILAE, dessen Struktur vom DLR-Institut für Strukturmechanik in Braunschweig entwickelt wurde, trägt wissenschaftliche Instrumente zur Untersuchung der Beschaffenheit des kometaren Materials an der Landestelle.

Die lange Reise ROSETTAs zum Kometen 67p/Churyumov-Gerasimenko sieht im Detail wie folgt aus: März 2005 naher Vorbeiflug an der Erde, März 2007 Vorbeiflug am Planeten Mars, November 2007 Vorbeiflug an der Erde, September 2008 am Asteroiden Steins, November 2009 Vorbeiflug an der Erde, Juli 2010 Vorbeiflug am Asteroiden Lutetia, Mai 2014 Rendezvous mit dem Kometen und November 2014 Landung auf dem Kometen. Das Missionsende ist für den Dezember 2015 geplant. Die Erd- und Marsvorbeiflüge dienen der Bahnkorrektur.

Auch ROSETTA auf seiner langen und 10 Jahre dauernden Reise zum Kometen 67p/Churyumov-Gerasimenko wissenschaftlich sehr interessante Messungen am Mars und an den beiden zu besuchenden Asteroiden liefert, so stellt ein Projekt mit einer Gesamtlaufzeit von fast 30 Jahren die internationale Community der Kometenforscher vor eine harte Geduldsprobe. Mehr noch, ein Projekt dieser Größenordnung und Dauer erfordert spezielle Vorkehrungen, um sicherzustellen, dass auch bei Ankunft am Kometen die notwendigen Detailkenntnisse über die wissenschaftlichen Experimente noch verfügbar sind. Die europäische Raumfahrtagentur ESA hat daher umfangreiche Vorkehrungen getroffen, den Know-How Transfer über die langen Jahre der ROSETTA-Mission sicherzustellen. Alle wesentlichen Entwicklungs- und Fertigungsschritte des Satelliten und der Experimente wurden in Wort und Bild umfänglichst dokumentiert. Videofilme wichtiger Produktionsprozesse, Instrumentkalibrierungen usw. sollen darüber hinaus helfen, den Erfahrungsschatz der vielen am ROSETTA-Projekt beteiligten und in den kommenden Jahren in den Ruhestand gehenden Wissenschaftler zu sichern. ROSETTA ist so auch zu einem Testfall für neue Formen der Projektarchivierung geworden.

Wenn dann ROSETTA im Jahre 2014 an seinem Ziel ankommt, wird sich das wissenschaftliche Interesse auch auf die komplexen plasmaphysikalischen Prozesse in der Wechselwirkungsregion des Sonnenwindes mit dem abströmenden Gas des Kometen richten. Durch die UV-Strahlung der Sonne und hochenergetische Elektronen im Sonnenwind wird dieses kometare Gas ionisiert und unterliegt sofort dem elektromagnetischen Feld des interplanetaren Mediums. Da Stöße zwischen Teilchen wegen der extrem geringen Dichte von etwa nur 5 Teilchen pro Kubikzentimeter kaum vorkommen, sind es diese elektromagnetischen Felder, die die Wechselwirkung zwischen den kometaren und interplanetaren Teilchen kontrollieren und dafür sorgen, dass die kometaren Teilchen mit dem Sonnenwind weiter in den Raum geschleudert werden. So entsteht der Schweif, glauben die kometaren Plasmaphysiker. Offen, und nur in numerischen Simulationen verstanden, sind jedoch viele Prozessdetails, die sich bestens studieren lassen, wenn man den, in seiner Aktivität mit zunehmender Nähe zur Sonne stärker werdenden Kometen umkreist, so wie es ROSETTA in 10 Jahren machen soll.

1. Einführung

Die ROSETTA-Mission ist eine Cornerstone-Mission der europäischen Weltraumorganisation ESA im Rahmen ihres Horizon 2000 Programmes. Ziel dieser extrem ehrgeizigen Mission ist die Erforschung eines Kometen durch eine Raumsonde, die einen Kometenkern über längere Zeit umkreisen soll und durch ein Landegerät, das an der Oberfläche des Kometenkernes wissenschaftliche Messungen durchführen soll.

Die ersten Planungen für dieses Projekt gehen auf Diskussionen in Wissenschaftlerkreisen Mitte der 80ziger Jahre zurück. 1992 beschloß die ESA, die wissenschaftlichen Instrumente für die ROSETTA-Mission im Rahmen einer internationalen Ausschreibung einzuwerben. Vorgesehen war im Call for Proposal der ESA auch ein Instrument zur Vermessung der Plasmaeigenschaften in der Umgebung des Kometenkerns.

Gemeinsam mit Dr. Andrew Coates vom Mullard Space Science Lab in England bewarb sich Prof. Dr. Karl-Heinz Glassmeier als Projektleiter und ein Team der Technischen Universität Braunschweig mit weiteren Wissenschaftlern aus Frankreich und Skandinavien um den Zuschlag für das Plasmainstrument für die ROSETTA-Mission (**Anlage A**). Vier weitere Experimentvorschläge wurden der ESA 1992 eingereicht. Allerdings entsprach keines der vorgeschlagenen Experimentpakete den Vorstellungen des wissenschaftlichen Auswahlgremiums. Die ESA schlug daher vor, aus Teilen aller Experimentvorschläge einen neuen Vorschlag auszuarbeiten. Mit der Aufstellung dieses neuen Teams wurde Karl-Heinz Glassmeier betraut. Der ESA wurde dann 1993 durch ein sogenanntes Shortproposal (**Anlage B**) ein neuer Experimentvorschlag gemacht, der dann vom wissenschaftlichen Auswahlgremium für gut befunden wurde, um auf dem ROSETTA-Orbiter mitzufliegen.

Als Principal Investigator für das Magnetometerexperiment wurde K. H. Glassmeier vom Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik der Technischen Universität Braunschweig ausgewählt (**Anlage C**).

Das so entstandene ROSETTA Plasma Consortium (RPC) hat in der Folgezeit ein einzigartiges kompaktes Paket von Plasmaexperimenten entwickelt, das aus den folgenden Sensoren besteht:

- | | | |
|---|-----------------------------------|--|
| - | MAG: Fluxgate Magnetometer Sensor | Principal Investigator:
K.H. Glassmeier, Braunschweig |
| - | LAP: Langmuir Probe | A. Eriksson, Uppsala |
| - | MIP: Mutual Impedance Probe | J. G. Trotignon, Orleans |
| - | IES: Ion-Electron Spectrometer | J. Burch, San Antonio |
| - | ICA: Ion Composition Analyser | R. Lundin, Kiruna |
| - | PIU: Plasma Interface Unit | C. Carr |

Die PIU ist die gemeinsame elektronische Steuereinheit aller RPC Sensoren.

Das RPC-Team wird von einem Sprecher aus der Runde der Principal Investigators geleitet, der als Interface zur ESA und zum Science Working Team des ROSETTA-Projektes fungiert.

Der RPC-Spokesman wird jährlich neu bestimmt. Auf der technischen Seite wird das RPC-Team von einem Consortium Technical Manager (CTM) geführt, der seinerseits mit den Technical Managern der einzelnen Sensorteams eng kooperiert. Bis zum Jahre 2002 ist der RPC-CTM Herr Dr. Günter Musmann vom Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik der Technischen Universität Braunschweig gewesen. Technischer Manager des RPC-MAG Teams ist Dr. Ingo Richter vom Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik der Technischen Universität Braunschweig. Herr Dr. Richter ist auch der Koordinator für die Erstellung des sogenannten User-Manuals des gesamten RPC-Consortium zuständig und tätig gewesen. Ein Organigramm der Organisation des RPC-Teams postlaunch zeigt Abb. 1.

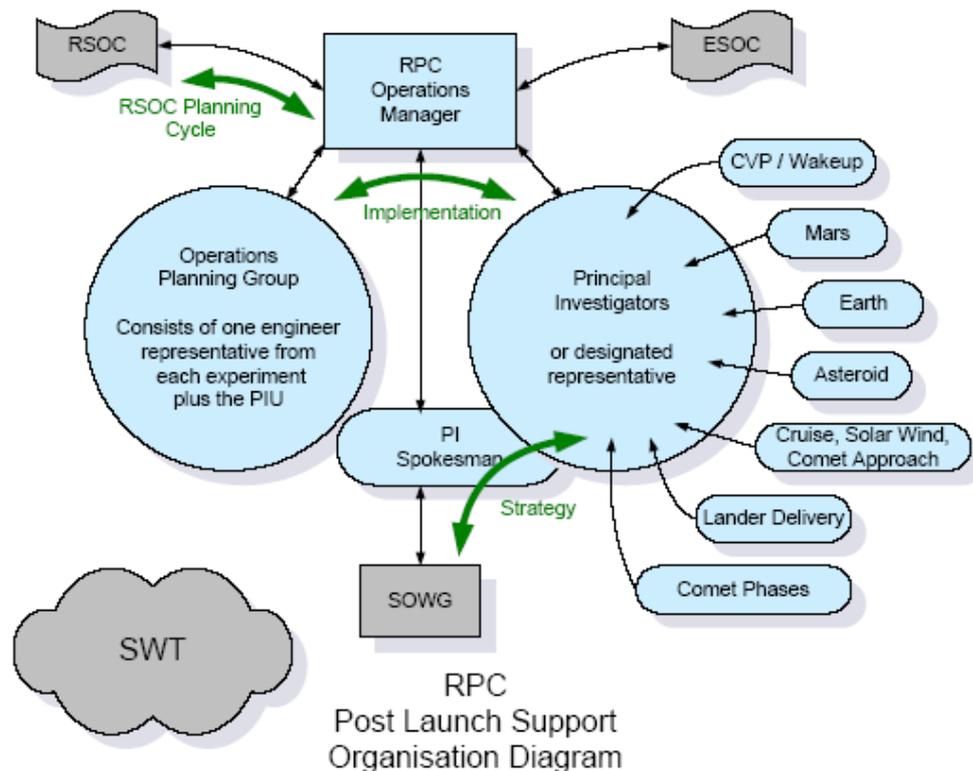


Abb. 1: Organigramm des RPC Consortiums postlaunch.

Im Rahmen der engen und fruchtbaren Zusammenarbeit innerhalb des RPC-Teams gelang es, ein Plasmainstrument zu entwickeln, zu bauen und zu fertigen, das allen Anforderungen der ESA genügte und auf dem ROSETTA-Orbiter erfolgreich integriert wurde. Der Start des Satelliten (Abb. 2) sollte ursprünglich im Januar 2003 erfolgen, musste dann aber wegen technischer Probleme des Startgerätes ARIANA 5 um ein Jahr verschoben werden. Der Start erfolgte dann erfolgreich am 2. März 2004. Die Startverzögerung brachte es mit sich, dass das ursprüngliche Missionsziel, der Komet p/Wirtanen, nicht mehr angefliegen werden konnte. Als neues Ziel der ROSETTA-Mission wurde der Komet p/Churyumov-Gerasimenko ausgewählt.

Vor dem Erreichen des Kometen im Jahre 2014 wird ROSETTA eine Reihe von Planeten- und Asteroidenvorbeiflügen absolvieren, die einerseits eine detaillierte Überprüfung der



Abb. 2: Das ROSETTA Raumschiff mit dem Landegerät PHILAE

Funktionsfähigkeit des Fluggerätes erlaubt, andererseits interessante wissenschaftliche Untersuchungen an den besuchten Objekten ermöglicht. Folgende Vorbeiflüge und Missionsphasen sind geplant:

März 2005:	1. Erdvorbeiflug
März 2007:	Mars-Vorbeiflug
November 2007:	2. Erdvorbeiflug
September 2008:	Asteroidenvorbeiflug (Steins)
November 2009:	3. Erdvorbeiflug
Juli 2010:	Asteroidenvorbeiflug (Lutetia)
Juli 2011:	Beginn der Überwinterung
Januar 2014:	Aufwachen aus dem Winterschlaf
Mai 2014:	Rendezvous
November 2014:	Landung auf dem Kometen
August 2015:	Perihel-Durchgang
Dezember 2015:	Missionsende

Insbesondere die Vorbeiflüge ermöglichen es auch, ein besonders bei dem ROSETTA-Projekt wegen seiner extrem langen Laufzeit, mit 25 Jahren fast ein Wissenschaftlerleben, zu bewältigen: Das Zusammenhalten der Instrumentteams erfordert nicht nur entsprechenden finanzielle Support, sondern auch eine inhaltliche, wissenschaftliche Klammer, die durch die Vorbeiflüge gegeben ist.

Als weitere Klammer und insbesondere auch zur Vorbereitung der wissenschaftlichen Messungen in 10 Jahren sind auch eine Reihe von theoretischen Arbeitsgruppen initiiert worden. Für das Plasmainstrument sind hier insbesondere zwei Teamaktivitäten am International Space Science Institute in Bern zu nennen, das von K. Szegö (RPC CoI, Ungarn) und K.H. Glassmeier (RPC PI) geleitete Team „Physics of Mass Loaded Plasmas“ (siehe auch **Anlage D**) und das von T. Gombosi (RPC CoI, Ann Arbor) und U. Motschmann (RPC CoI, Braunschweig) geleitete Team „Comet Simulation“. Alles in allem kann davon ausgegangen werden, dass sich das ROSETTA RPC bestens auf die aufregenden wissenschaftlichen Messungen ab dem Jahr 2014 vorbereitet hat.

2. Wissenschaftliche Zielsetzung

Das hauptsächliche Ziel der wissenschaftlichen Messungen des Fluxgate Magnetometers des ROSETTA Plasmainstrumentes ist das Studium der Wechselwirkung zwischen dem magnetisierten Sonnenwindplasma und dem Kometen p/Churyumov-Gerasimenko während der Annäherung des Kometen an die Sonne. Im Vordergrund steht dabei die Frage der Veränderung dieser Wechselwirkung in Abhängigkeit von der kometaren Aktivität. Zwei grundsätzlich verschiedene Moden der Wechselwirkung können dabei unterschieden werden: die Wechselwirkung mit dem inaktiven, nicht ausgasenden Kometen und die Wechselwirkung des sehr stark ausgasenden Nukleus mit dem Sonnenwind.

Dieser letztere Fall ist bereits während der Vorbeiflüge von GIOTTO an den Kometen p/Halley und p/Grigg-Skjellerup, der ICE-Sonde am Kometen p/Giacobini-Zinner und der Sonde Deep Space 1 am Kometen p/Borelly ausführlicher studiert worden. Neutralgas kometaren Ursprunges expandiert mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 km/s vom Nukleus. Heiße Elektronen und der UV-Anteil der solaren Strahlung ionisieren dieses Neutralgas. Die neugeborenen Ionen werden in der Folge vom Sonnenwindplasma aufgenommen, was im Wesentlichen durch das Sonnenwindmagnetfeld bewerkstelligt wird. Diese Massenbeladung führt zu einer deutlichen Verringerung der Sonnenwindgeschwindigkeit. Da der Sonnenwind ein supersonisch strömendes Medium ist, kommt es bei fortschreitender Abbremsung zur Ausbildung einer schwachen Stoßfront vor dem Kometenkern. Der Abstand der Front vom Kern hängt deutlich von der Ausgasungsrate ab. Hinter der Bugstoßwelle ist das Sonnenwindplasma subsonisch und kann das Hindernis Komet umströmen. Der Sonnenwindplasma und interplanetares Magnetfeld sehr eng miteinander verkoppelt sind, führt die Massenbeladung so auch zu einer Drapierung der Magnetfeldlinien um den Kometenkern, ein Bild, das bereits von Hannes Alfvén 1957 geprägt wurde.

Dieses klassische Bild der Kometen-Sonnenwindwechselwirkung ist im Wesentlichen durch die bisherigen Vorbeiflüge an Kometen bestätigt worden. Trotzdem müssen wichtige Detailprozesse der Wechselwirkung, insbesondere der Physik des Pick-ups der neugeborenen Ionen als nicht vollständig verstanden gelten und bedürfen daher dringend einer weiteren Untersuchung. Da der Sonnenwind ein extrem verdünntes Plasma darstellt, in dem Ionen eine mittlere freie Weglänge von etwa einer astronomischen Einheit haben, spielen Stöße für den Pick-up Prozess keine Rolle. Es sind elektromagnetische Wellen, die die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Ionen des massenbeladenen Plasma bewerkstelligen. Diese großamplitudigen Wellen sorgen für die Isotropisierung und Thermalisierung der Ionenverteilungen und sind daher von grundlegendem Interesse für den Massenbeladungsprozeß.

Abb. 3 zeigt Beobachtungen des interplanetaren Magnetfeldes während der Begegnungen mit den Kometen Halley, Grigg-Skjellerup, Giacobini-Zinner und Borelly (siehe auch **Anlage E**). Da die Vorbeiflugstrajektorien und Geschwindigkeit unterschiedlich sind, wurden die jeweiligen Messungen so skaliert, dass die Beobachtungen vergleichbar sind. Die Vorbei-

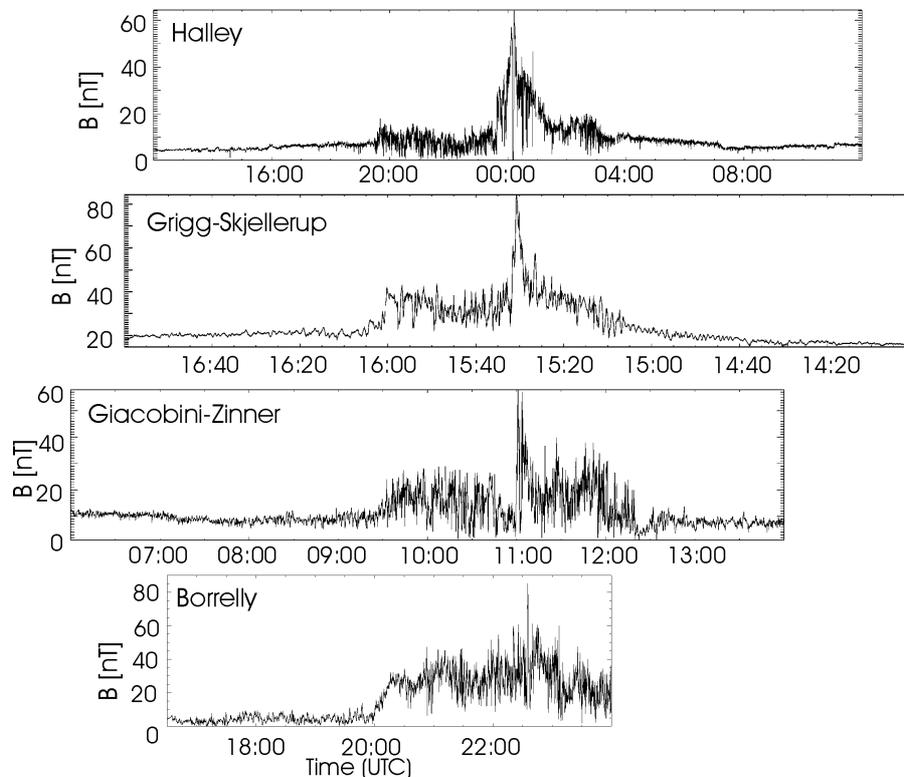


Abb. 3: Beobachtungen des Betrages des interplanetaren Magnetfeldes während der Vorbeiflüge an den Kometen p/Halley, p/Grigg-Skjellerup, p/Giacobini-Zinner und p/Borelly.

flugsgeschwindigkeit an p/Halley war mit 68.7 km/s deutlich größer als zum Beispiel während des Vorbeifluges an p/Grigg-Skjellerup, die mit etwa 14 km/s deutlich kleiner war. Dies impliziert, dass die räumliche Auflösung bei Grigg-Skjellerup dann auch entsprechend größer war. Diese Unterschiede wurden in Abb. 2 dadurch angepasst, dass die Samplingrate der Beobachtungen aufeinander angepasst wurde. Im Falle von Halley wurde auch noch die Vorbeiflugsrichtung invertiert, d.h. in allen vier gezeigten Beispielen bewegt man sich nun von der Morgenseite zur Abendseite des Kometen. Als weitere Vergleichsmarke wurde der Durchgang durch die Bugstoßwelle genommen und die Graphen sind entsprechend skaliert worden.

Ein Vergleich der vier Messungen zeigt, dass alle Wechselwirkungsregionen in ihren makroskopischen Charakteristika sehr ähnlich sind. Besonders die Ähnlichkeit zwischen Halley und Grigg-Skjellerup ist sehr auffällig. Vor der Nachmittagsbugstoßwelle steigt die Stärke des Feldes als Folge der Massenbeladung langsam an bis an der Bugwelle selber ein Maximum erreicht wird. In der kometaren Magnetosheath nimmt das Magnetfeld dann wieder leicht ab, um kurz vor dem Closest-Approach ein weiteres Maximum zu erreichen. Die Morgenpassage ist ähnlich, doch ist die Feldzunahme nicht so ausgeprägt.

Ein genauerer Vergleich zeigt aber auch deutliche Unterschiede, so z.B. in den Eigenschaften der beobachteten Plasmawellen, in der Natur der Bugstoßwelle oder der inneren

Strukturierung der Magnetosheath. Diese Unterschiede hängen deutlich von von der Produktionsrate der jeweiligen Kometen ab. In Bezug auf die ROSETTA Mission bedeutet dies, dass die Entwicklung der kometaren Aktivität mit zunehmender Nähe zur Sonne es auch erlauben wird, die verschiedenen Stadien und Typen der Wechselwirkung zwischen Sonnenwind und Komet genau zu studieren. Numerische Simulationen deuten hier auf viele plasmaphysikalisch sehr interessante Phänomene hin. Einzelheiten dazu entnehme man der Arbeit von Bagdonat et al. (2004; **Anlage F**).

Für die Physik des Kometenkerns besonders interessant ist auch die Phase der Wechselwirkung des nur schwach aktiven Kometenkerns mit dem Sonnenwind. Denn in dieser Phase können Induktionseffekte in einem möglicherweise elektrisch leitfähigen Kern die Wechselwirkungsregion deutlich beeinflussen. Die Charakteristika der Wechselwirkungsregion hängen dann von den physikalischen Eigenschaften des Kern ab und ihre Bestimmung lässt Rückschlüsse auf den Kern zu. In diesem Zusammenhang sind auch koordinierte Messungen mit dem Lander von größtem Interesse.

Die Plasma- und Magnetfeldmessungen auf dem ROSETTA Raumschiff lassen also eine große Zahl von wissenschaftlichen Messungen erwarten, die für das Verständnis der Kometenphysik von großer Wichtigkeit sind.

3. Instrumentbeschreibung

Das für den ROSETTA Orbiter entwickelte Magnetometer ist ein sogenanntes Fluxgate-Magnetometer, wie es bei vielen Satellitenmissionen zum Einsatz gekommen ist. Die Herausforderung für die ROSETTA Mission war es, ein den beschränkten Masse-, Volumen- und Leistungsressourcen angemessenes Instrument zu entwickeln und zu integrieren. Als weiteres Problem tritt die relativ hohe magnetische Verschmutzung des Satelliten hinzu, die zu erheblichen magnetischen Störfeldern am Messort führt. Um diesem magnetischen Reinheitsproblem adäquat zu begegnen wurden zwei Magnetometer auf einem etwa 1.5 Meter langen Ausleger montiert (Abb. 4). Mit dieser Dual-Magnetometer-Technik und einem von der ESA unterstützten Magnetischem Reinheitsprogramm gelang es, ein den wissenschaftlichen Anforderungen entsprechendes Instrument zu entwickeln, zu fertigen, erfolgreich zu testen und zu integrieren. Weitere Details zum RPC-MAG Fluxgate-Magnetometer entnehme man Glassmeier et al. (2005; **Anlage G**) und dem beigefügten Experiment Interface Document Part B (**Anlage H**).

4. Das Magnetische Reinheitsprogramm

Die magnetische Reinheit eines Satelliten ist das A und O einer jeden Magnetfeldmessung im Weltraum. Entsprechung wurden umfangreiche Vorkehrungen getroffen, um diese magnetische Reinheit zu gewährleisten. Details zum Magnetischen Reinheitsprogramm findet man in den Reports Richter (2002a; **Anlage Ia**, 2002b; **Anlage Ib**, 2002c; **Anlage Ic**, 2001; **Anlage Id**).

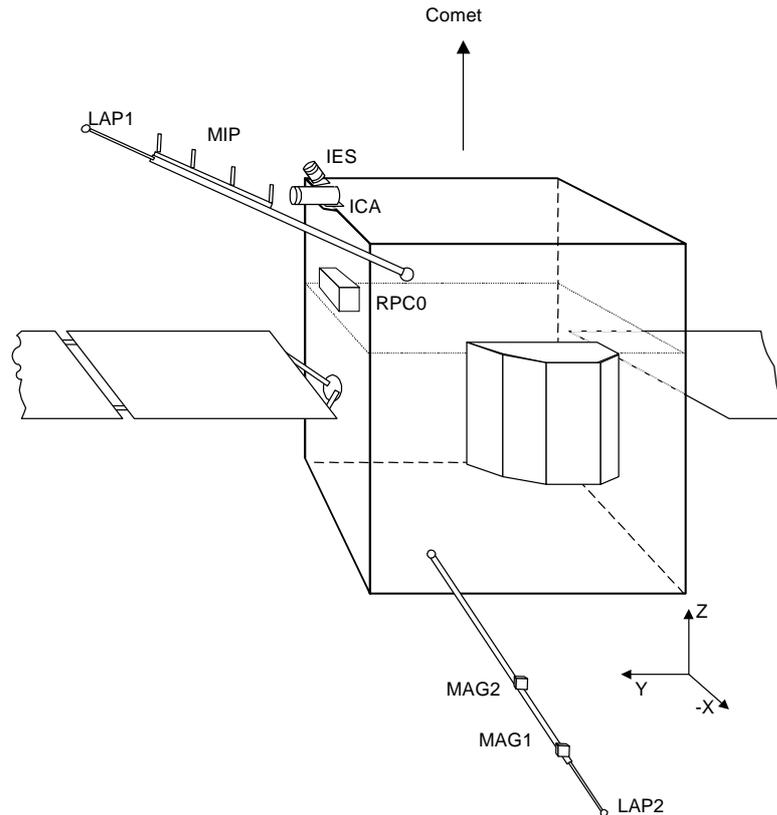


Abb. 4: Schematische Darstellung des ROSETTA Satelliten mit dem die Inboard- (MAG 2) und Outboard (MAG 1) Magnetometer tragenden Boom. LAP 1 und 2 sind die Langmuir Proben, MIP die Mutual Impedance Probe, IES das Ionen-Elektronen-Spektrometer, ICA das Ionen Composition Instrument und RPC0 die gemeinsame Elektronik-Box.

5. Sensor-Kalibrierung

Der wissenschaftliche Wert eines Instrumentes hängt entscheidend von der Güte der Kalibrierung des Instrumentes ab. Die RPC-MAG Sensoren wurden mit sehr großem Aufwand im Kalibrierlabor Magnetsrode (Abb. 5) der Technischen Universität Braunschweig kalibriert. Im dortigen Braunbek-Spulensystem lassen sich quasi-feldfreie Bedingungen erzeugen. Mittels eines externen Magnetometers werden Kompensationsfelder erzeugt, die das Erdmagnetfeld bis auf etwa 1 nT zeitlich kompensieren. Durch Zusatzfelder jeglicher Art können dann zu kalibrierende Sensoren bearbeitet werden. Die Kalibrierung wird in einem Temperaturbereich von etwa -100 bis $+150^{\circ}$ C durchgeführt. Die Kalibriermethoden und Kalibrierergebnisse sind in den Reports von Rahm und Richter (2001; **Anlage Ja**) und Othmer und Richter (2001, **Anlage Jb**) näher beschrieben.

6. User-Manual und Archivierung

Im Rahmen des Rosetta Plasma Consortiums (RPC) war das IGeP auch verantwortlich für die

technische Dokumentation des gesamten Experiments. Es mußte sowohl die Hardware der sechs einzelnen Experimente als auch die Kommandierung derselben beschrieben und dokumentiert werden. Zu diesem Zweck entstand das sogenannte RPC USER MANUAL (UM) (**Anlage K**). Es ist aus der Experiment Interface Description Teil B (EID-B) hervorgegangen.



Abb. 5: Das Braunbek-Spulensystem des Kalibrierlabors Magnetsrode

Das UM ist während der kompletten Mission **das** maßgebliche Dokument zur Bedienung des RPC- Experimentes:

- Es enthält eine komplette Experimentbeschreibung inklusive technischer Daten, Zeichnungen und technischer Details, auf die bei Bedarf zurückgegriffen werden kann.
- Im UM sind die Interfaces zum S/C inklusive Kommandos, Parameter, Timing usw. beschrieben.
- Die komplette Struktur der Telemetriepakete und der Telekommandos kann dem UM entnommen werden.

- Es wird zur quantitativen Analyse von Leistungs- u. Telemetriebudgetabschätzungen zu Rate gezogen.
- Es wird zur Planung einzelner Missionsphasen benutzt, da das UM das einzige Dokument ist, in dem alle Messmodi jedes Experimentes detailliert beschrieben sind.
- Alle relevanten Testprozeduren, sowohl für die Boden- als auch für die „in Flight“-Tests, sind im UM beschrieben.
- In Falle eines aufgetretenen Fehlers können die im UM definierten Notprozeduren aktiviert werden.
- Der Thermalhaushalt ist im UM dokumentiert und kann bei thermischen Ausnahmesituationen zur Problemlösung herangezogen werden.
- Das UM enthält eine Referenz auf die komplette ROSETTA Datenbank (RSDB), in der alle zum Betrieb von RPC benutzten Kommandos, Parameter und Variablen definiert sind.
- Eine Referenz auf alle Flight Control Procedures (FCPs) und On board Control Procedures (OBCPs) ist vorhanden.
- Das UM enthält ein ausgedehntes ESA Akronymverzeichnis, das das tägliche Arbeiten und die Kommunikation mit dem Projekt erheblich vereinfacht.

Das UM wurde während der Experimentintegrationsphase initiiert und wird fortlaufend auch während der aktiven Mission bei Bedarf ständig aktualisiert, so dass RPC-Team stets auf eine gültige Dokumentation zurückgreifen kann. Dr. Ingo Richter vom IGeP hat die Erstellung des UM koordiniert und zeichnet für seine Aktualisierung verantwortlich.

Bei einem so umfangreichen Projekt, wie es ROSETTA darstellt, ist eine umfängliche Archivierung unerlässlich. Die Archivierung beinhaltet dabei sowohl

- Kenntnisse und Details, die beim Bau des Magnetometers zur Anwendung kamen, als auch
- die Speicherung und Verarbeitung der gewonnenen Daten während der Mission.

Zur Konservierung aller bekannten Kenntnisse und Details, die mit dem Magnetometerbau und seinem Betrieb in Zusammenhang stehen, wurde in Kooperation mit der ESA ein sogenanntes „Knowledge Management Video“ gedreht. Ein ESA Kamerateam gab dabei allen Schlüsselpersonen die Gelegenheit, ihren Beitrag zum Experiment und die „kleinen Geheimnisse“, die anderweitig schlecht dokumentierbar sind, vor laufender Kamera zu präsentieren. Diese Interviews, die etwa eine Woche in Anspruch nahmen, wurden wochenlang vorbereitet, damit auch in 10 Jahren noch die Experimentdetails verstanden werden können. Zusätzlich zu den Videobändern entstand in diesem Rahmen eine umfangreiche PowerPoint-Präsentation, die alle Experimentdetails auf unterster Ebene enthält.

Der zweite Punkt betrifft die Archivierung der Daten. Hierzu wurden im Konsortium gemeinsame Datenstrukturen definiert, so dass der Zugriff auf die Daten der anderen Experimente vereinfacht wird. Die Daten werden im Planetary Data System (PDS) Format gespeichert.

Um die Telemetrie-Rohdaten effizient in PDS konforme Daten wandeln zu können, wurde am IGeP ein umfangreiches Softwarepaket (DDS2PDS, Datenwandlung vom Data Distribution System in das PDS Format) geschrieben. Das Paket ist im Dokument RO-IGEP-TR0007, DDS2PDS User Manual (**Anhang L**) ausführlich beschrieben. Mittels DDS2PDS können die binären Rohdaten automatisch gelesen, in verschiedene Prozeß-Levels transformiert (Instrument-, S/C-, Himmelskoordinaten; Separation nach Instrumentmodi und Sensoren;

Filterung im Zeitbereich, Eliminierung von S/C Störungen im Frequenzbereich), gespeichert und geplottet werden.

Die PDS-Strukturen der Daten sind im Experiment to Archive Interface Control Document (EAICD, RO-IGEP-TR0009, **Anhang M**) ausführlich beschrieben.

7. Commissioning Ergebnisse

Nach dem ROSETTA Start am 2. März 2004 fand in den Zeiträumen 17. – 19. März 2004, 5. – 10. Mai 2004, 6. – 10. September 2004 und 20. September bis 14. Oktober 2004 das sogenannte Commissioning des RPC-Instrumentes statt, d.h. alle Funktionen der Plasmainstrumente und des ROSETTA Orbiter Magnetometers wurden einer eingehenden Prüfung während des Fluges unterzogen. Die für die ROSETTA Mission entwickelten Fluxgate-Magnetometer arbeiten einwandfrei. Probleme treten noch bei der Kalibrierung auf. Diese werden sich während des 1. Erdvorbeifluges von ROSETTA am 4. März 2005 klären lassen.

Mit besonders großer Spannung wurde zunächst das Ausklappen des Magnetometerbooms verfolgt. Denn nur ein vollständig ausgeklappter Boom garantiert auch magnetisch unkontaminierte Messungen des interplanetaren Magnetfeldes. Die Messungen während des Boom-Ausklappens zeigt Abb. 6. Das Ausklappen fand nicht nur in einer Richtung statt, sondern beinhaltete auch eine Drehung des Sensorsystem relativ zu den Raumfahrzeugkoordinaten. Die sieht man sehr deutlich an der sich ändernden Dominanz des Magnetfeldes zwischen den verschiedenen Komponenten.

Den Einfluß des Raumfahrzeugfeldes auf die Messungen sieht man in Abb. 6 sehr deutlich an der dramatischen Abnahme des Betrages des Magnetfeldes während des Ausklappens, also während der zunehmenden Entfernung des Magnetometers vom Satelliten. Hier zeigt sich einmal mehr, wie wichtig die Montage des Sensors auf einem Ausleger ist.

Ein Beispiel für Registrierung des interplanetaren Magnetfeldes im September 2004 zeigt Abb. 7. Die hier wiedergegebenen Messungen wurden temperaturkalibriert und der Sensor-Offset bestmöglichst korrigiert. Der erwähnte Erdvorbeiflug wird durch eine vergleichende Messung des bekannten Erdmagnetfeldes durch die beiden Magnetometer an Bord ROSETTAs und des ROMAP Sensors an Bord des Landegerätes PHILAE eine noch bessere Kalibrierung liefern.

Die sehr hohe Genauigkeit der RPC-MAG Messungen dokumentiert auch das dynamische Spektrum in Abb. 8. Bei höheren Frequenzen sieht man deutlich Leistungsanteile, die durch Störungen der vier an Bord von ROSETTA befindlichen Reaction Wheels hervorgerufen werden. Die Frequenzen der vier Wheels lassen sich anhand der Magnetfeldmessungen mit höchster Genauigkeit bestimmen und es wurde sogar eine Diskrepanz zwischen den nominalen Frequenzen und den tatsächlichen Frequenzen anhand der RPC-MAG Messungen festgestellt.

Weitere Details der Ergebnisse der Commissioning Kampagnen entnehme man den Reports von Diedrich et al. (2004a; **Anlage Na**), Diedrich et al. (2004b; **Anlage Nb**), Diedrich et al. (2004c; **Anlage Nc**) und Diedrich et al. (2004; **Anlage Nd**) sowie dem Commissioning Abschlussreport von Diedrich et al. (2004d; **Anlage Ne**).

March 19, 2004 CAL.DATA, INSTR.-COORDS, MODE:SID3 RPC-MAG-OB 20.0 samples/s

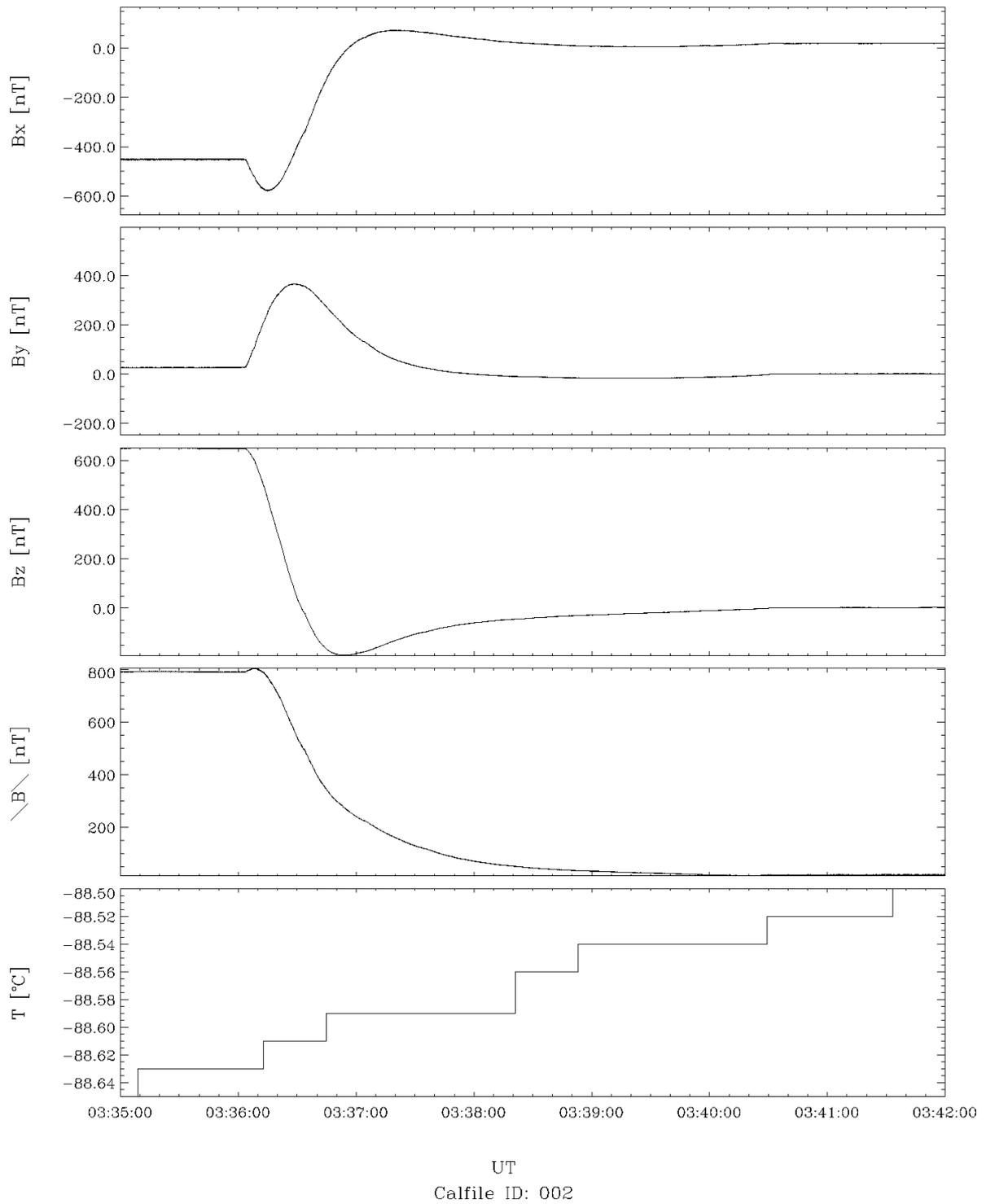


Abb. 6: RPC-Mag Messungen während des Ausklappens des Magnetometerbooms.

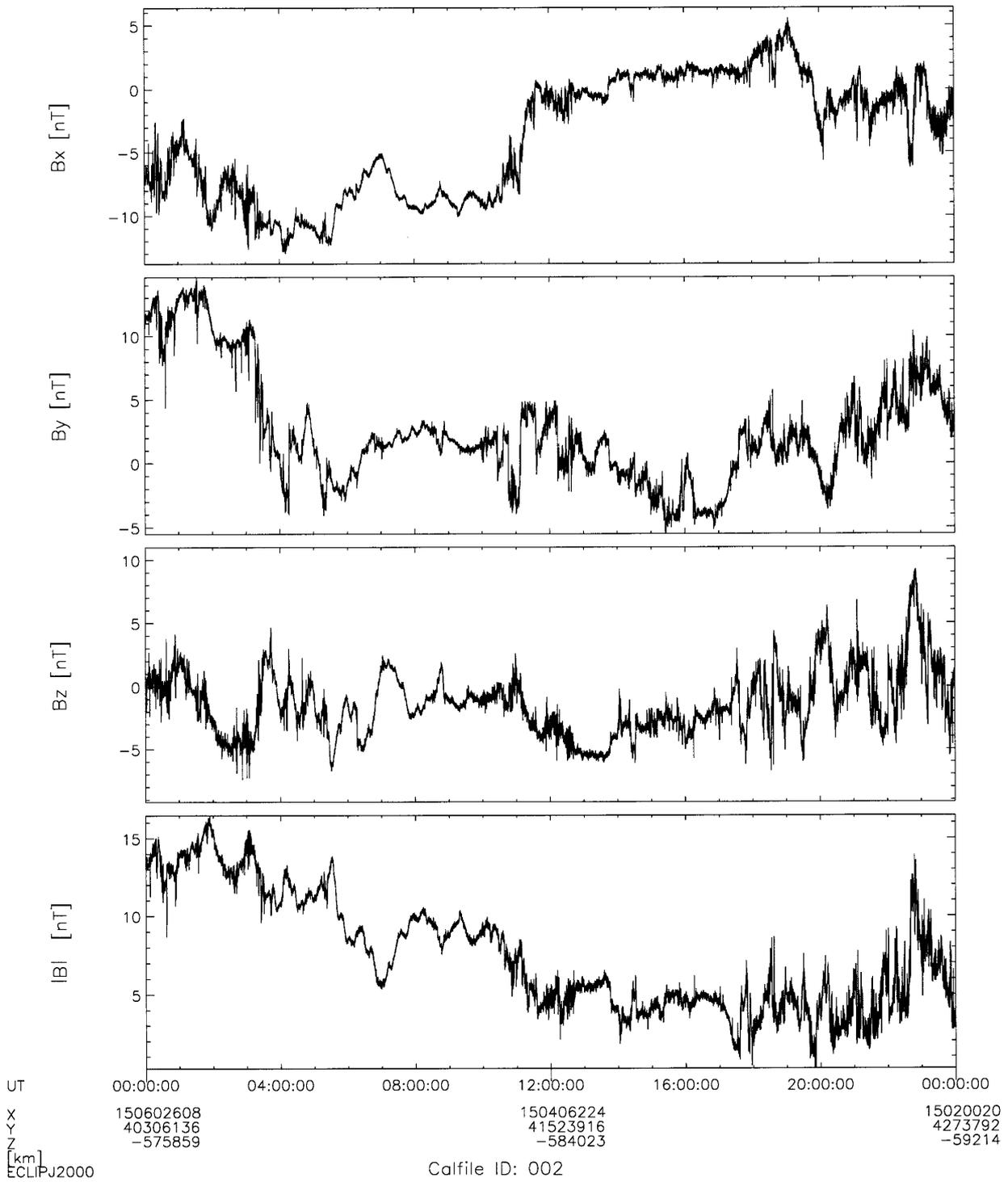


Abb. 7 Beispiel einer Magnetfeldregistrierung des Outboard-Sensors

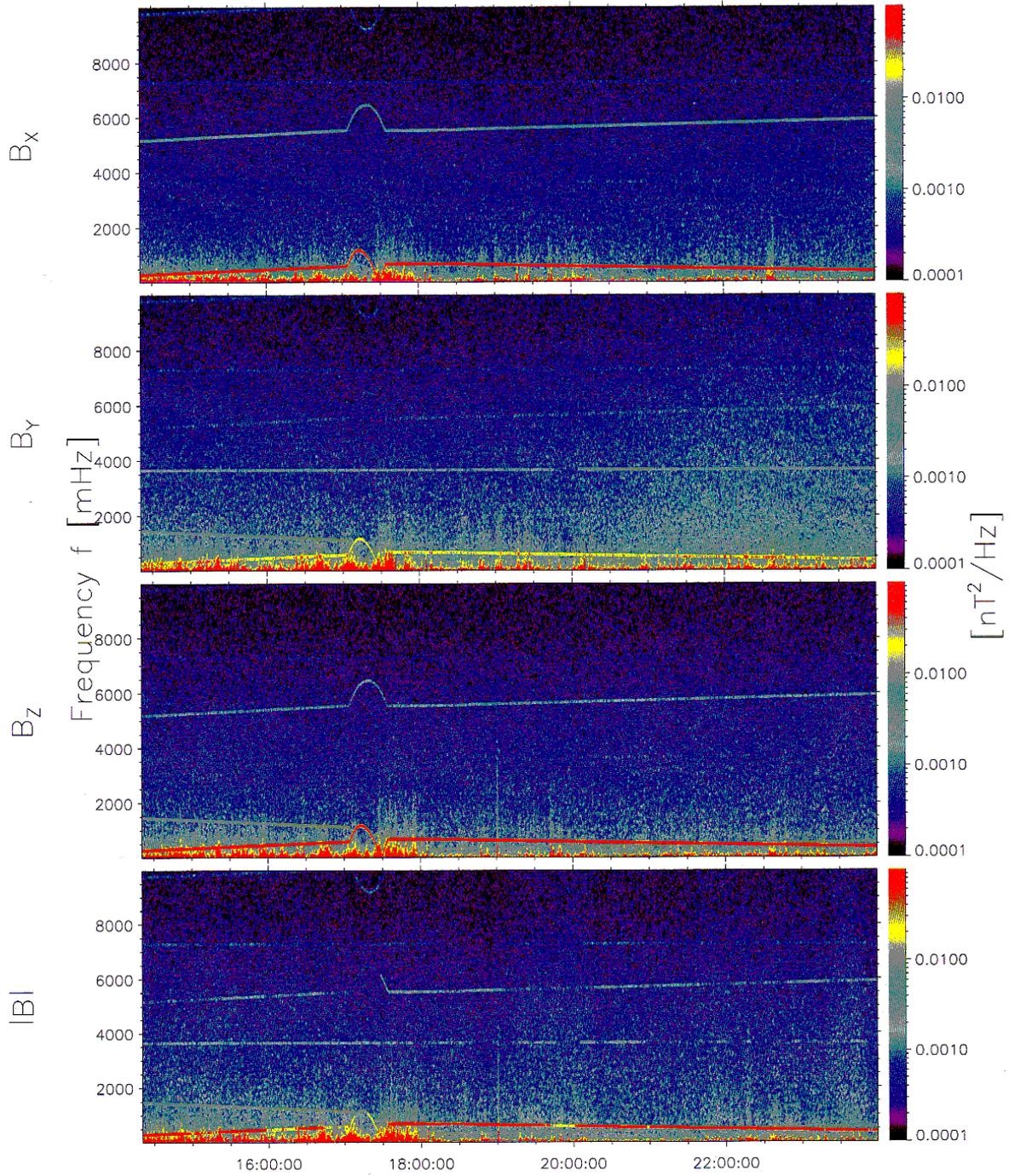


Abb. 8 Dynamische Spektren des Magnetfeldes mit deutlichen Störungen, die von den Reaction Wheels herrühren.

8. Der Draconiden-Durchflug am 9. September 2005

Am 9. September näherte sich Rosetta bis auf 0.0036 AU dem Orbit des Kometen p/Giacobini-Zinner. Dies ergab eine gute Möglichkeit, die Auswirkungen von kometaren Staubresten auf das interplanetare Magnetfeld zu untersuchen.

In Messungen der Raumsonden Ulysses und Pioneer zeigten sich immer wieder nicht erklärbare Erhöhungen des Interplanetaren Magnetfeldes (IFE), die oftmals mit einer Diskontinuität in der Feldrichtung einher gingen [Jones et al., *Icarus*, 166, 297, 2003 und *Astrophys. J.*, 597, L61-64, 2003; Russell et al., *Science*, 226, 43, 1984].

Detaillierte Untersuchungen ergaben, dass die IFEs oft genau dann auftraten, wenn die Raumsonden die Bahnebenen von Kometen kreuzten. Kometen hinterlassen mit jedem Umlauf um die Sonne Staubteilchen auf ihrer Bahn, die die sogenannten Trails bilden. Die kleineren Teilchen werden durch den Strahlungsdruck der Sonne stark beeinflusst und schnell nach Außen getrieben. Die größeren Teilchen jedoch, im Bereich von wenigen Millimetern, spüren nur wenig von dem Strahlungsdruck, so dass sie nahezu über den ganzen Orbit des Kometen verteilt sind. Dabei ist die Staubdichte in der Nähe des Perihels am größten, dort wo die Aktivität des Kometen am stärksten ist. Einige Trails sind im Infraroten sichtbar (etwa mit dem Infrarotsatelliten IRAS), hier auf der Erde nehmen wir sie als Sternschnuppenströme (Meteorschauer) wahr. So sind z.B. die Perseiden auf den Mutterkometen 109P/Swift-Tuttle zurückzuführen.

Weitgehend unerforscht ist jedoch, ob und in welcher Weise der Staub mit dem Interplanetaren Magnetfeld (IMF) in Wechselwirkung tritt. Die oben erwähnten IFEs lassen die Vermutung zu, dass die Trails ein Hindernis im Sonnenwind darstellen können, um das sich das IMF drapieren muss (Abb.9), wobei die Mechanismen im Detail noch ungeklärt sind. Eine Raumsonde, die die Bahnebene des Kometen auf der sonnenabgewandten Seite kreuzt, sollte also theoretisch Störungen messen können.

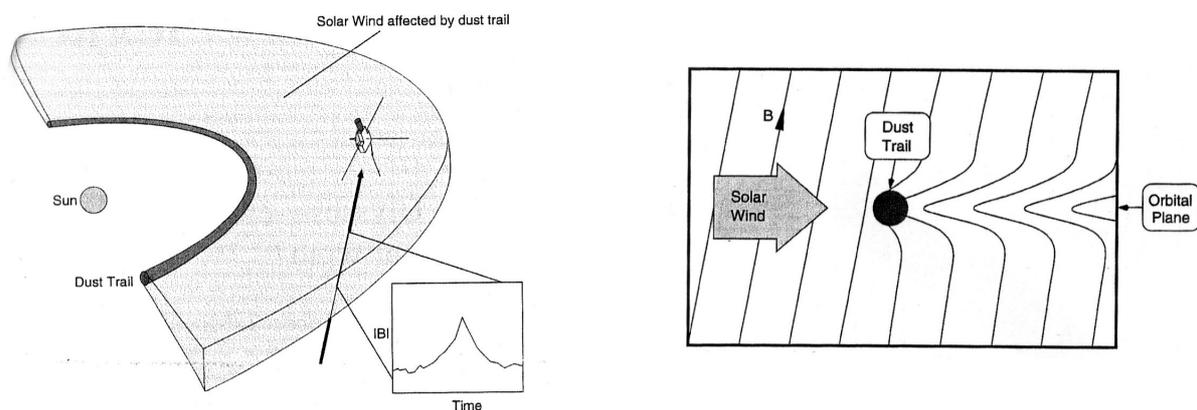


Abb. 9 Schematische Darstellung der Region, die durch Dusttrail beeinflusst werden kann und eine mögliche Deformation des interplanetaren Magnetfeldes [Jones et al., 2003]

Die ROSETTA Mission bietet mit ihrer langen Dauer eine ausserordentliche Gelegenheit, dieses interessante Phänomen näher zu untersuchen. Dazu haben wir umfangreiche Simulationen durchgeführt und die Bahn von ROSETTA mit den Orbits der etwa 200 bekannten kurzperiodischen Kometen verglichen. In der folgenden Tabelle sind die Ereignisse gelistet, bei denen ROSETTA sich der Bahn eines Kometen auf weniger als 0,01 AE nähert.

Comet	Date	Minimum distance to orbit [AU]
21P/Giacobini-Zinner	09.09. 2004	0.0036
P/Linear 2000 G1	25.03.2005	0.0088
P/Linear 2000 G1	04.11.2006	0.0091
112P/Urata-Nijima	07.05.2006	0.0048
126P/IRAS	10.02.2006	0.0069
103P/Hartley	04.11.2007	0.0070
45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova	17.04.2007	0.0083
88P/Howell	03.06.2008	0.0042
P/Linear 2003 O2	30.05.2009	0.0049
63P/Wild	06.04.2010	0.0065
P/Scotti 2001 X2	01.04.2011	0.0094
P/Lagerkvist 1996 R2	01.08.2011	0.0073
P/Mueller 1998 U2	28.06.2012	0.0022

Im September 2004 ergab sich die erste Gelegenheit, Messungen vorzunehmen. Die Hinterlassenschaften des Kometen 21P/Giacobini-Zinner sind als Draconiden bekannt und auf der Erde jedes Jahr im Oktober als Sternschnuppenstrom sichtbar. Die Bahngeometrie des Vorbeiflugs war dabei in vieler Hinsicht vorteilhaft. ROSETTA kreuzte die Bahnebene des Kometen am 9.9.04 unter einem Winkel von 31° in einem Abstand von 0,0036 AE auf der sonnenabgewandten Seite des Trails (Abb. 10)

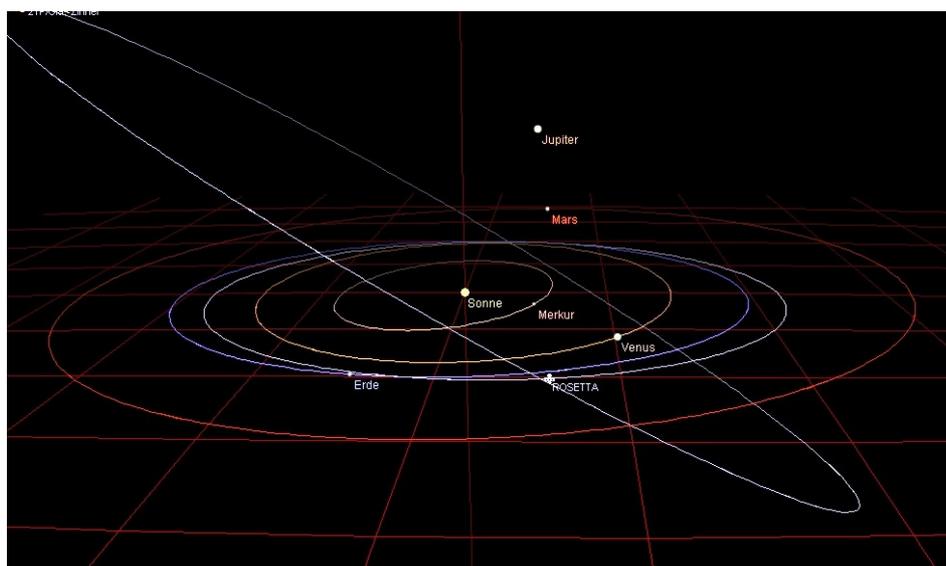


Abb. 10a Die Bahnen von ROSETTA und anderen Körpern im Sonnensystem.

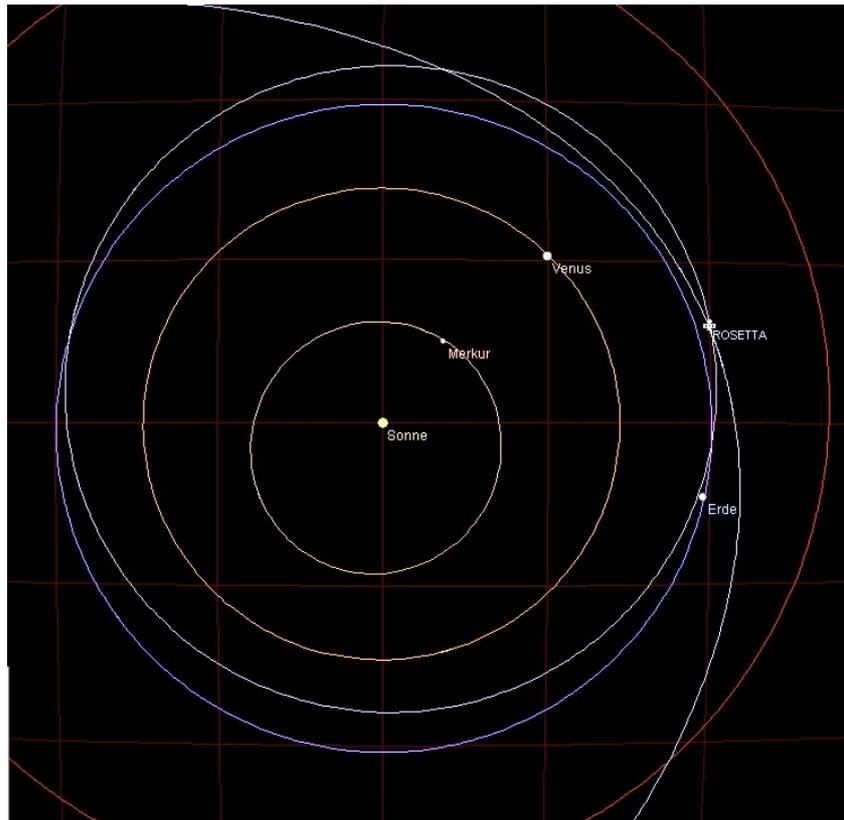


Abb. 10b Die Bahnen von ROSETTA und anderen Körpern im Sonnensystem

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen Magnetfeldmessungen, die während des Draconidenvorbeifluges sowohl auf dem ROSETTA Orbiter als auch auf dem Landegerät gemacht wurden. ROMAP wurde eingeschaltet, um vom Raumfahrzeug generierte Störungen besser analysieren und identifizieren zu können.

Die Messungen von ROMAP zeigen noch eine starke Drift, die wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass die Daten noch nicht temperaturkorrigiert sind. Sehr schön erkennen kann man aber, dass die Strukturen im Magnetfeld von beiden Magnetometern gleichermaßen erfasst wurden. Man sieht mehrere Erhöhungen des interplanetaren Feldes, die ihren Ursprung jedoch eher im stark gestörten Sonnenwind haben. Ein Vergleich mit Magnetfelddaten des Satelliten ACE (Abb. 13) bestätigt diese Vermutung.

Leider war es unter den stark gestörten Bedingungen während des Draconidenvorbeifluges nicht möglich, sehr kleine Störungen, wie sie von einem kometaren Trail hervorgerufen werden könnten, eindeutig von Sonnenwindstörungen zu unterscheiden und IFEs zu detektieren.

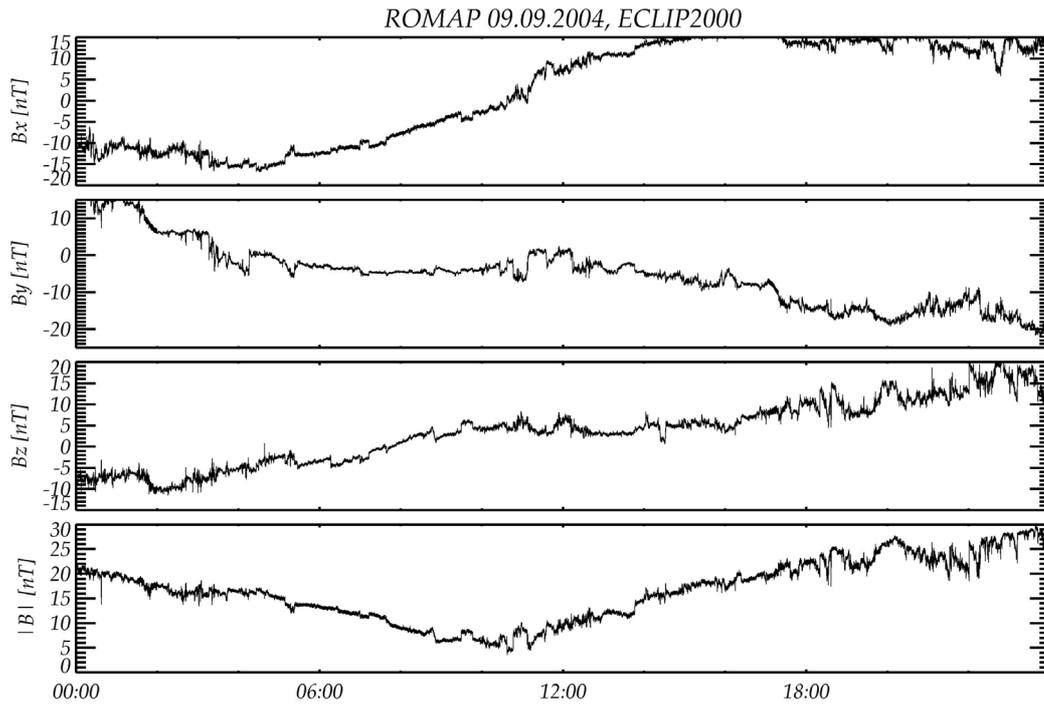


Abb. 11 ROMAP Messungen während des Draconidenvorbeifluges in heliozentrischen ekliptikalen Koordinaten.

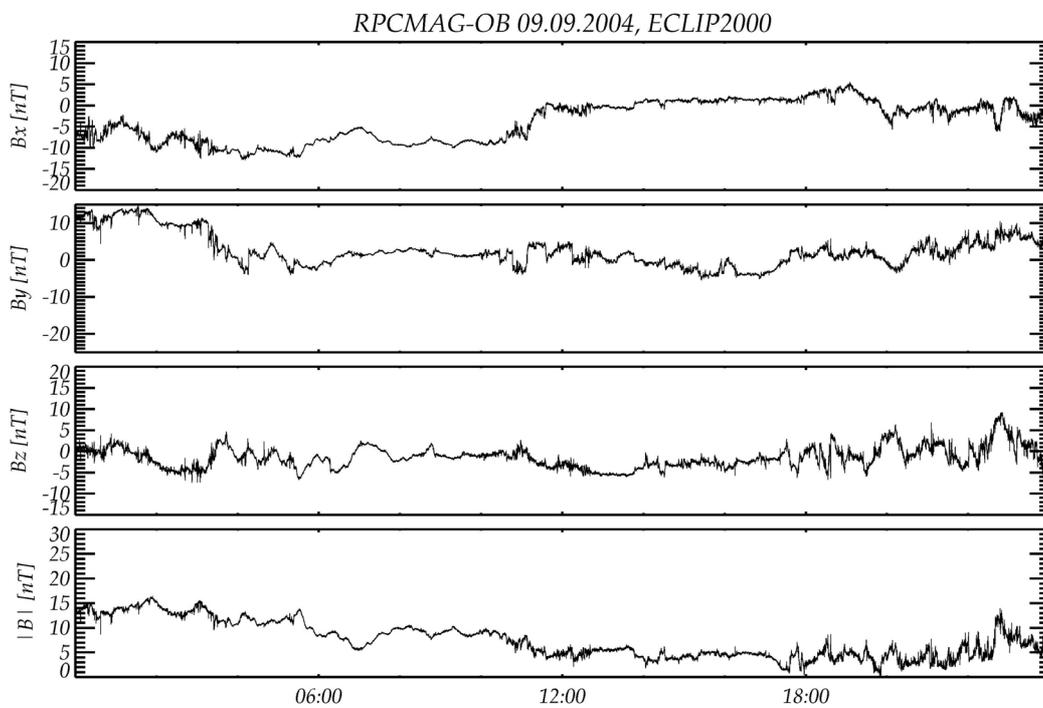


Abb. 12 RPC-MAG Messungen während des Draconidenvorbeifluges in heliozentrischen ekliptikalen Koordinaten.

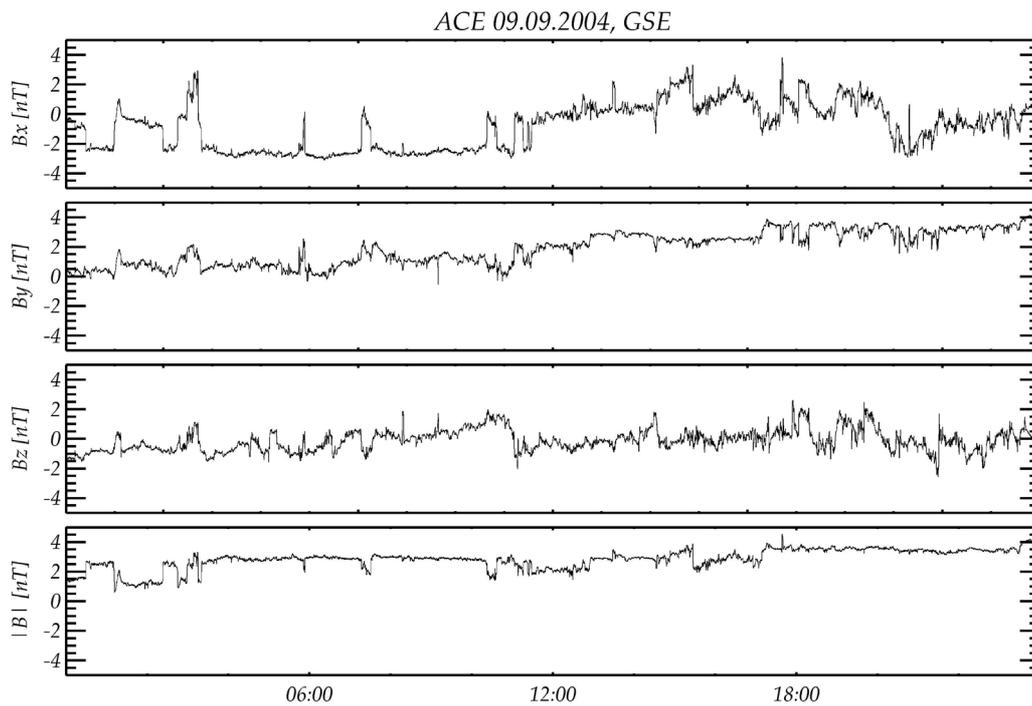


Abb. 13 ACE Beobachtungen des interplanetaren Magnetfeldes während des Draconidenvorbeifluges in heliozentrischen ekliptikalen Koordinaten.

9. Anlagen

Die Anlagen beinhalten weitere ausführliche Informationen zum RPC-MAG Instrument. Sie sind wegen des teils sehr erheblichen Umfanges dem gedruckten Bericht nur teilweise beifügt, befinden sich aber vollständig auf der beigefügten CD-ROM.

Anlage A

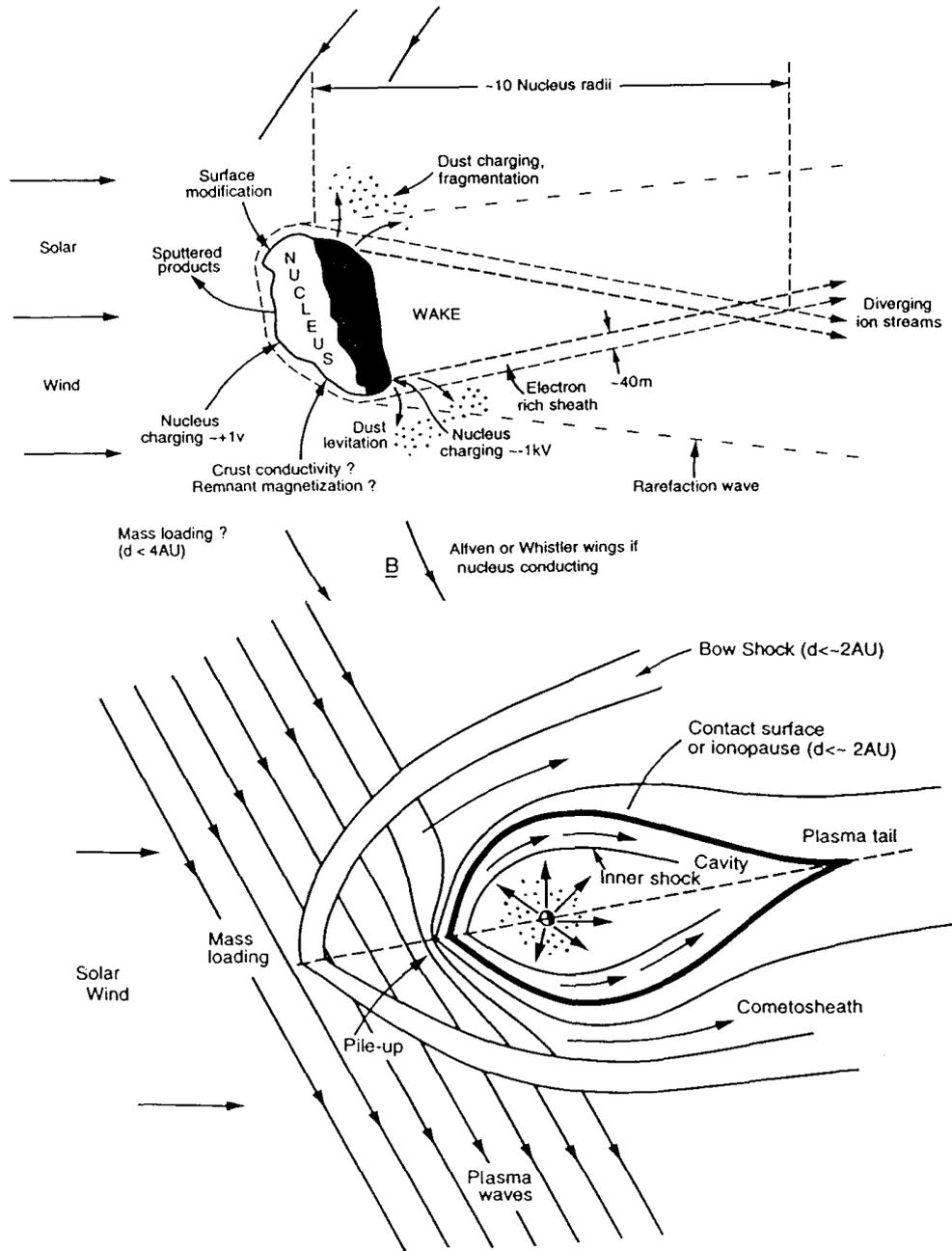
Executive Summary des Proposals Coates & Glassmeier an die ESA

Proposal for a ROSETTA ORBITER PLASMA PACKAGE (ROPP) by a particles and fields consortium EXECUTIVE SUMMARY

Principal investigators:

A.J. Coates (particles)
Mullard Space Science Laboratory
University College London
Holmbury St Mary
Dorking, Surrey RH5 6NT, UK
Tel: +44 1483 274111
Fax: +44 1483 278312
Email: ajc@mssl.ucl.ac.uk

K.-H. Glassmeier (fields)
Institut für Geophysik und Meteorologie
Technische Universität zu Braunschweig
Mendelssohnstrasse 3
D-38106 Braunschweig, Germany
Tel: +49 531 391 5214
Fax: + 49 531 391 5220
Email: khg@geophys.nat.tu-bs.de



As the activity of the comet changes,
we learn the comet's secrets.

(Translated into Egyptian hieroglyphics by Prof. John Tait, UCL) .

Proposal for a ROSETTA ORBITER PLASMA PACKAGE (ROPP)
by a particles and fields consortium
EXECUTIVE SUMMARY

Principal investigators:

A.J. Coates (particles)
Mullard Space Science Laboratory
University College London
Holmbury St Mary
Dorking, Surrey RH5 6NT, UK
Tel: +44 1483 274111
Fax: +44 1483 278312
Email: ajc@mssl.ucl.ac.uk

K.-H. Glassmeier (fields)
Institut für Geophysik und Meteorologie
Technische Universität zu Braunschweig
Mendelssohnstrasse 3
D-38106 Braunschweig, Germany
Tel: +49 531 391 5214
Fax: + 49 531 391 5220
Email: khg@geophys.nat.tu-bs.de

Lead Co-Investigators:

A D Johnstone (SOL)
Mullard Space Science Laboratory
University College London
Holmbury St Mary
Dorking, Surrey R145 6NT, UK
Tel: +44 1483 274111
Fax: +44 1483 278312
Email: adj@mssl.ucl.ac.uk

G Musmann (MAG)
Institut für Geophysik und Meteorologie
Technische Universität zu Braunschweig
Mendelssohnstrasse 3
D-38106 Braunschweig, Germany
Tel: +49 531 391 5217
Fax: + 49 531 391 5220
Email : uwe@geophys.nat.tu-bs.de

C Mazelle (PESA,SESA)
Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements
CNRS-UPS
9 Avenue Colonel Roche
31400 Toulouse, France
Tel: +33 6155 6765
Fax: +33 6155 6701
Email: mazelle@cesr.cnes.fr

A Balogh (ICU)
Space & Atmospheric Physics
Blackett Laboratory
Imperial College
London SW7 2BZ
Tel: +44 171 594 7768
Fax: +44 171 594 7772
Email: .balogh@spva.ph.ic.ac.uk

O. Lie-Svendsen (COPP)
Norwegian Defence Res Est
Division for Electronics
PO Box 25
2007 Kjeller, Norway
Tel: +47 6 380 7308
Fax: +47 6 380 7212
Email: btn@ffi.no

K Szego (EGSE)
KFKI Research Institute for Particle
& Nuclear Physics
POBox49
H1525 Budapest, Hungary
Tel: +36 1 155 1682
Fax: +36 1 169 6567
Email: SZEGO@rmki.kfki.hu

B Wilken (PID)
Max-Planck Institut fuer Aeronomie
Postfach 20
37189 Katlenburg-Lindau
Germany
Tel: +49 5556 979 431
Fax: +49 5556 979 240
Email: wilken@linaxl.dnet.gwclg.de

T Sanderson (EPS)
ESTEC
Space Science Dept
2200 AG Noordwijk
The Netherlands
Tel: +31 1719 83577
Fax: +33 17 19 84697
Email: tsanders@estecsl.estec.esa.nl

A Roux (SCM)
CETP/IPSL
10-12 Avenue de l'Europe
78140 Velizy
France
Tel: +33 1 3925 4899
Fax: +33 1 3925 4887
Email: alain.ROUXC@cetp.ipsl.fr

Co-Investigators:

T I Gombosi (Lead US co-investigator)
University of Michigan
USA

U.Motschmann
Technische Universität zu Braunschweig
Germany

H Reme, J A Sauvaud
CESR
France

K Jockers, W-H Ip, A Korth, S Livi,
J Woch, E Kirsch
Max-Planck Inst für Aeronomie, Germany UK

S W H Cowley
Imperial College

K Schwingenschuh
Space Research Inst
Graz, Austria

J Rustenbach, K Sauer
Max-Planck Inst für Extraterrestrische
Physik, Berlin, Germany

S M P McKenna-Lawlor
St Patricks College
Ireland

K Svenes, B T. Narheim
NDRE
Norway

F M Neubauer
Universität Koln, Germany

R P Lin
Univ of California, Berkeley, USA

R C Marsden, K Mehlum
ESTEC, Holland

K R Flammer
Univ of California, San Diego, USA

M Horanyi
Univ of Colorado, USA

B T Tsurutani
JPL, USA

G P Zank
Bartol Research Inst
Univ of Delaware, USA

E Kührt
Inst für Weltraumsensorik,
Berlin, Germany

G Belmont
CETP/IPSL
France

H.Balsiger
Iniv of Bern
Switzerland

Rosetta Orbiter Plasma Package (ROPP) - Executive summary

Principal investigators: A.J.Coates (MSSL - particles) K.H.Glassmeier (TUBS- fields)

Lead co-investigators: A D Johnstone (MSSL - SOL), G Musmann (TUBS - MAG), C Mazelle (CESR - PESA,SESA),
A Balogh (ICSTM - ICU), O Lie-Svendson (NDRE - COPP), K Szego (KFK1 - EGSE),
B Wilken (MPAe - PID), T Sanderson (ESTEC - EPS), A Roux (CETP - SCM),
T Gombosi (U Michigan - Lead US co I).

We propose an integrated package of advanced particle and field sensors with common electronics requiring a minimum of spacecraft resources. The science objectives of the package are wide ranging within three major areas of cometary science as follows:

Nucleus science. ROPP will give the first signal of cometary activity as the spacecraft flies with cometary nucleus towards the Sun. This will be a critical signal for the landers and other instruments. Other nucleus science objectives for ROPP include:

- determination of the electrical conductivity of the crust
- detection of any remnant magnetization of the crust and nucleus
- study of sputtered products and surface modification from solar wind bombardment
- detection of nucleus charging and its effect on the activity
- conditions for dust charging, levitation and fragmentation
- remote sensing of surface features from jet structures
- determination of water production rates out to >3 AU
- retention of parent molecules within the nucleus

Inner coma aeronomy. Rosetta will allow the first detailed exploration of the inner coma of a comet. In this critical region many photochemical reactions occur which change parent atoms, molecules and ions into 'daughter' products. The ROPP measurements will determine the physical processes controlling the mass flow and the interaction with the solar wind and energetic ions. This sets the framework within which mass spectrometric and other microscopic studies are made. Additional ROPP objectives include:

- determination of the photoelectron spectrum at high resolution to diagnose coma chemistry
- study of thermodynamics in the cavity region
- determination of the principal charge carrier
- detection and study of the inner shock
- dust sputtering effects
- correlation with ion and neutral mass spectrometer data

Solar wind-comet interaction. As Rosetta accompanies the cometary nucleus on its flight towards the Sun, ROPP will have a unique opportunity to study the development of cometary activity and of the plasma tail. Specific objectives in this area include:

- physics of the contact surface: its development, structure and stability
- exploration of the inner cometary coma and cavity-tail connection region
- in-situ study of tail ray formation region
- development of boundaries in the plasma near the comet
- generation of ULF waves as a detector of pickup particles
- dust-plasma interaction

In addition to the cometary objectives, Rosetta's **asteroid flybys** offer some excellent opportunities for science with ROPP. In particular, the tantalising results from Galileo concerning asteroid magnetization of S-type asteroids invite further in-situ study by spacecraft to determine how unique those results are. Flyby of C-type asteroids in particular could provide more clues on the relationship between asteroids and comets. Additional ROPP aims at the asteroid encounters include:

- detection of outgassing and determination of gas production rate
- surface conductivity by unipolar induction

The ROPP scientific objectives outlined above will contribute to all of the Rosetta mission scientific objectives at different levels. The mission objective most relevant for ROPP concerns the development of cometary activity. A modular design of the experiment is proposed for the hardware with common electronics to save mass, and with options of a core package and a full package. The **ROPP core package** will more than fulfil the scientific aims of the plasma package in the model payload, for similar resources. The **full package** includes additional sensors which return crucial additional information to fulfil the scientific aims listed above.

The ROPP data will also be important for the proper understanding of data from other instruments on the spacecraft. For example, ROPP will measure the electron parameters which are a key input to the chemistry in the inner coma; these will be important in understanding the ion and neutral mass spectrometer (INMS) data. There is some cross membership with that team at PI and co-i level. ROPP will also measure spacecraft potential which will be important for a number of other instruments.

Management scheme

The ROPP team is led by Andrew Coates (MSSL, - particle PI) and Karl-Heinz Glassmeier (T.U. Braunschweig - field PI). MSSL provides the technical point of contact to ESA, the solar wind ion sensor; project management; systems engineering; science processors; power converters; and scientific planning. TUBS leads the fields team. The management scheme is symmetric with separate particle and fields managers.

The hardware team also includes CESR, Toulouse (electron sensors), NDRE, Norway (cold plasma probe), MP Ae Lindau (pickup ion detector), Imperial College (electronics for magnetometer and spacecraft interface), ESTEC (energetic particle sensor), CETP, Paris (search coil magnetometer) and KFKI, Hungary (EGSE).

The Science, Modelling and Observations team includes key cometary plasma and nucleus experts with a rotating chair; the first chairperson is Tamas Gombosi (U. Michigan). The role of this team is to advise the hardware team on the anticipated environment and other science issues.

Funding status

Funding for ROPP is being requested in the member states involved and in the USA. In the UK preliminary assessment of potential involvements (July 1995) ROPP was placed second highest priority of 22 submitted and eight scientifically endorsed proposals.

Departures from AO constraints

The ROPP core package uses marginally higher resources than in the model payload. The full package uses higher spacecraft resources than in the model payload. The full package returns crucial additional data to fulfil the scientific aims above.

Performance and resource summary

Acronym	C O R E S E N S O R S					A D D I T I O N A L S E N S O R S			
	COPP	MAG	PESA	SOL	RCE	PID	SESA	EPS	SCM
Name	COld Plasma Probe	MAGneto-Meter	PhotoElectron electroStatic Analyser	SOLAR wind ion sensor	ROPP Common Electronics	Pickup Ion Detector	Solar wind Electron electroStatic Analyser	Energetic Particle Sensor	Search Coil Magneto-meter
Type	Langmuir Probe	Fluxgate 2 sensors + elec box	Collimator + deflector	Differential retarding potential	-	Imaging TOF-E	Symmetric quadrisphere	Solid state 2 sensors	1 axis
Heritage	MAIMIK, Spacelab 1, Rockets	Mars 96, Giotto	Dev from Giotto, ISEE AMPTE, Cluster	STRV-1a Dev from Giotto, Cluster etc	Cluster, AMPTE	Cluster: Geotail	Dev from Giotto, ISEE, AMPTE, Cluster	Mars 96, WIND	Interball Dev from Cluster Galileo Ulysses
Parameters	Ne Ni m ⁻³ 10 ⁶ -10 ¹² Te, Ti, K ~100-10 ⁵ E.S. waves to kHz Sweep -20 to +20V	B vector +/-64 nT +/-256 +/-1024 +/-65536 0 - 20 Hz	Electrons (+ions full) 0.5-100eV	Ions, 3-d within FOV 1-3500 eV	-	Ions, molec mass 10-20keV/nuc 1-44 amu H ⁺ He ⁺ H ₂ O ⁺ CO ⁺	Electrons 1.5-2500eV	Ions 20keV - 3 MeV	ΔB _x 10 bins 1-1000 Hz
Field of View	4π sr	-	2x5°	90x90°, 5x5° per pixel	-	14x120°	2π sr 22.5x7° pixel	2 x 30°	
Time Resolution	10s sweep every 60s	1 vector/2s	60s	5.3s usual 164ms best	-	60-600s	20s	16-64s	4-40s
ΔE/E	-	-	4%	3-20%	-	-	15%	-	-
Geometric Factor	-	-	10 ⁻⁵ cm ² sr	3.5x10 ⁻⁵ cm ² sr per pixel	-	3x10 ⁻³ cm ² sr	10 ⁻³ x E cm ² srkeV	.058cm ² sr	-
Mass g	492	276	200 core 220 full	823	1123 core 1618 full	940	900	568	470
Power mW (secondary)	600	250	400	950	1350 core 1600 full	1000	700	650	270
Telemetry bps	25-250	25-250	25-250	25-250		25-250	25-250	25	2-20

Core package mass 2914g, (no contingency or harness)
 Power 3550mW, @70% converter efficiency=5071mW
 Telemetry 100-1000bps: burst mode 5000bps

Full package mass 6307g, (no contingency or harness)
 Power 6420mW, 0>70"h. converter efficiency=9171 mW
 Telemetry 177-1545hps; burst mode 5000hps