

**Schlußbericht zum Vorhaben CLUSTER-Magnetometerexperiment Köln -
Wissenschaftliche Dateninterpretation**

Förderkennzeichen: 50 OC 0002
Zeitraum: 1. Januar 2001 bis 29. Februar 2004
Projektleiter: Prof. F.M. Neubauer

Ziel des Vorhabens der Kölner Arbeitsgruppe innerhalb des Cluster II-Magnetfeldexperiment (PI: Prof. A. Balogh, Imperial College, London) war einmal die Herrichtung der in Braunschweig prozessierten Daten zur vollen Verwendbarkeit bei maximaler Zeitauflösung. Zum anderen wurden interplanetare Diskontinuitäten außerhalb der Vorschockregion der Erdbugstoßwelle untersucht, wobei mittels der vier Cluster-Satelliten zum ersten Mal auch rein geometrische Verfahren (Triangulation) angewandt werden konnten. Dies ergab völlig neue Erkenntnisse über diesen wichtigen Teil der Struktur des interplanetaren Mediums. Die Nutzung der Plasmadaten des Experiments CIS auf Cluster war wesentlich dadurch erschwert, dass nur zwei funktionsfähige Experimente zur Verfügung standen sowie die Auswertung relativ primitiv war.

Bei der detaillierten Darstellung folgen wir den zwei Punkten der Zwischenberichte zum Projekt:

1. Die Rohdatenauswertung wurde für die volle Nutzung der ansonst sehr guten Zeitauflösung des Magnetfeldexperiments wesentlich verfeinert.
2. Diskontinuitäten im Sonnenwind wurden untersucht, wobei die vollen Möglichkeiten der vier Clustersatelliten ausgenutzt wurden.

Zu 1. **Verfeinerung der Rohdatenauswertung der TU Braunschweig**

Die Rohdatenauswertung der Cluster-Magnetfelddaten erfolgte in Braunschweig. Die sich ergebenden prozessierten Daten sind sehr gut geeignet zur Untersuchung von Vorgängen in der Erdmagnetosphäre und im benachbarten Sonnenwind, wenn die Zeitauflösung nicht besser als die Spinperiode von 4 Sekunden sein muss. Für schnellere Variationen, die die volle Abtastrate des Experiments von 22 Vektoren/s erfordern, ist ein verbleibender Spinton in den Komponenten senkrecht zur Spinachse sehr störend. Es wurde daher ein Kerbfilter entwickelt, das den Spinton entfernt. Erschwerend war dabei, dass die Spinperiode variiert, so dass ein geeigneter Kompromiss zwischen der Frequenzschärfe des Filters, die für die möglichst geringe Verzerrung des Signals wichtig ist, und der Anpassung an die variable Spinperiode gefunden werden musste. Die Entwicklung des Kerbfilters erforderte umfangreiche Tests. Das endgültige Kerbfilter musste vor der eigentlichen wissenschaftlichen Auswertung der Daten auf die hochaufgelösten Daten der Jahre 2001 – 2003 angewandt werden und zwar für alle vier Satelliten.

Zu 2. **Diskontinuitäten im Sonnenwind**

Ein wichtiger Bestandteil der Feinstruktur des Sonnenwindes sind Diskontinuitäten, d.h. abrupte Sprünge der physikalischen Parameter des Magnetfeldes und die Plasmagrößen. Dazu gehören die relativ seltenen aber dramatischen Stoßwellen verschiedenen Typs. Wesentlich häufiger treten Diskontinuitäten auf, die bisher mit Hilfe von Einzelsatellitenmessungen als Rotationsdiskontinuitäten (RD's) und als Tangentialdiskontinuitäten (TD's) identifiziert wurden. Dazu diente bisher bei Einzelsatellitenmessungen die sog. Minimum-Varianz-Analyse (MVA), bei der der Kovarianztensor der hochaufgelösten Magnetfeldkomponenten der Diskontinuitätenübergänge benutzt wird. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Bestimmung der Diskontinuitätennormalen, die über eine Hauptachsentransformation des Kovarianztensors berechnet wird. Ein Maß für die Güte der MVA ist dabei das Verhältnis des mittleren Eigenwertes λ_2 zum kleinsten Eigenwert λ_3 d.h. $\lambda_2 / \lambda_3 = E$. Eine alte Simulationsstudie ergab, dass E größer als zwei sein muss, um die Güte der entscheidenden Normalen zu

gewährleisten. Mit diesem Qualitätskriterium konnten neben unentschiedenen Fällen große Zahlen von RD's und TD's identifiziert werden, ein für die Physik des Sonnenwindes sehr wichtiges Ergebnis.

Zur Anwendung der Clusterdaten mussten nun zunächst die verfeinerten prozessierten Daten bereitgestellt werden (siehe Punkt 1). Dann mussten mit Hilfe der Orbitdaten vom Magnetosphäreneinfluß freie Sonnenwinddaten bereitgestellt werden sowie Zeitintervalle ausgewählt werden, in denen die vier Clustersatelliten eine Anordnung nahe der idealen Tetraederanordnung hatten.

Mit Hilfe der vier Clustersatelliten konnten die Normalen der Diskontinuitäten nun rein geometrisch durch Triangulation mittels der Zeitverschiebungen an den Satelliten und deren Positionen bestimmt werden. Es ergab sich, dass $E > 2$ keine gute Bedingung für die Qualität der Normalen ist, sondern eher $E > 8$ herangezogen werden muss. Als Folge konnte kein RD mehr eindeutig aus Magnetfelddaten allein identifiziert werden, wohl aber eine große Zahl von TD's und unentschiedenen Diskontinuitäten (RD oder TD, EITHERS genannt). Dieses Ergebnis galt unabhängig von der Art des Sonnenwindes (langsame Intervalle, Hochgeschwindigkeitsströme etc.) in allen eindeutigen Sonnenwindregionen, in denen 2001 – 2003 Messungen gemacht werden konnten. Dieses wichtige Ergebnis lässt alle Ergebnisse zu Diskontinuitäten im Sonnenwind in den letzten ca. 40 Jahren als zumindest fragwürdig erscheinen. Überwiegend aus den Magnetfelddaten z.T. mit Hilfe der Plasmadaten ergeben sich somit folgende Ergebnisse sowie Teilstudien:

1. Die den Diskontinuitäten überlagerten Wellenfelder sind im Gegensatz zu früheren Annahmen stark anisotrop.
2. RD's haben, wenn sie überhaupt existieren, eine sehr kleine Ausbreitungsgeschwindigkeit.
3. Die Verteilung der Spreizwinkel zwischen Anfangsvektor und Endvektor stimmt mit früheren Untersuchungen überein.
4. Die Richtungsverteilung der Normalenvektoren in solar-ekliptikalen Koordinaten wurde untersucht.
5. Die Dickenverteilung ergab ein Maximum bei wenigen Ionengyoradien und einen starken Abfall nach kleinen Dicken.

6. Es existieren keine Diskontinuitäten mit dem Elektronengyroradius als Dicke.
7. Es wurden umfangreiche Untersuchungen zur Fehlerbestimmung und zur inneren Konsistenz durchgeführt.
8. Die Abhängigkeit der Messergebnisse vom Abstand der Satelliten untereinander wurde untersucht mit einem Abstand von ca. 500 km in 2001, 5000 km in 2002 und ca. 100 km in 2003.

Des weiteren wurde versucht, die detaillierten Plasmadaten des CIS-Experiments für die weitere Analyse zu benutzen. Dies ist leider durch die schlechte Genauigkeit und die Beschränkung auf zwei Satelliten beschränkt. Dies beschränkt auch die Möglichkeit, die Ausbreitungsgeschwindigkeit aus den Plasmamessungen über die Theorie der RD's und TD's zu bestimmen und durch Vergleich mit den Ergebnissen der Triangulation RD's und TD's zu unterscheiden. Auf jeden Fall sind die Magnetfeld- und Plasmaergebnisse bisher konsistent. Die Arbeiten in diesem Feld sind noch nicht abgeschlossen.

Die Arbeiten und Ergebnisse sind jedenfalls für die nichtlineare Dynamik des Sonnenwindes von großer Bedeutung.

Die Arbeiten wurden mehrfach bei internationalen Tagungen vorgestellt, u.a. bei der EGS in Nizza 2003, Herbst AGU 2001 und 2003 und COSPAR Houston 2002 sowie Paris 2004.

Des weiteren wurden zwei Veröffentlichungen in *Advances in Space Research* und im *J. Geophys. Res.* eingereicht. Sie sind inzwischen gedruckt bzw. im Druck. Die Promotion von Herrn Knetter, dem Bearbeiter der Clusterdaten, dürfte spätestens im Frühjahr 2005 abgeschlossen werden.

Veröffentlichungen

1. Knetter, T., F.M. Neubauer, T. Horbury, A. Balogh: Discontinuity observations with Cluster, Advances in Space Research, Vol. 32, Issue 4, p. 543 – 548, 2003.
2. Knetter, T, F.M. Neubauer, T. Horbury, A. Balogh, M. Fraenz, A. Korth, I.Dandouras, H. Reme: Solar wind discontinuity observations using simultaneously FGM magnetic field data and CIS plasma data from the four Cluster spacecraft, J. Geophys.Res., im Druck, 2004

2. August 2004

(Prof. F. M. Neubauer)

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3a. Titel des Berichts Schlussbericht zum Cluster II-Magnetometerexperiment Köln, Wissenschaftliche Dateninterpretation	
3b. Titel der Publikation siehe detaillierte Veröffentlichungsliste im Schlussbericht	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Neubauer, Fritz M.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 29.02.2004
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) siehe 3b.	6. Veröffentlichungsdatum 2. August 2004
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Geophysik und Meteorologie (IGM) Universität zu Köln Albertus Magnus Platz 50923 Köln	7. Form der Publikation ---
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution ---
	10. Förderkennzeichen*) 50 OC 0002
	11a. Seitenzahl Bericht 5
	11b. Seitenzahl Publikation siehe 3b.
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. Literaturangaben siehe 3b.
	14. Tabellen siehe 3b.
	15. Abbildungen siehe 3b.
16. Zusätzliche Angaben -----	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -----	
18. Kurzfassung Ziel des Vorhabens war die wissenschaftliche Auswertung der Magnetfelddaten der Cluster II-Mission nach einer Verfeinerung der Rohdatenauswertung. Speziell wurden mit Hilfe von Magnetfelddaten des Cluster II-Arrays von vier Satelliten Untersuchungen von Diskontinuitäten im Sonnenwind durchgeführt. Es ergab sich, dass viele Ergebnisse von Einzelsatellitenuntersuchungen der Vergangenheit zumindest fragwürdig sind.	
19. Schlagwörter Cluster II-Magnetometerexperiment, Diskontinuitäten im Sonnenwind	
20. Verlag siehe oben: IGM	21. Preis ----

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN oder ISSN	2. Type of Report Final Report		
3a. Report Title Final Report for the Cluster II-Magnetometer Experiment Cologne, Scientific Data Interpretation			
3b. Title of Publication see detailed list of publications in the Final Report			
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Neubauer, Fritz M.		5. End of Project 2/29/2004	
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))		6. Publication Date 8/2/04	
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Institut für Geophysik und Meteorologie Universität zu Köln Albertus Magnus Platz 50923 Köln Germany		7. Form of Publication ----	
		9. Originator's Report No. ----	
		10. Reference No. 50 OC 0002	
		11a. No. of Pages Report 5	
		11b. No. of Pages Publication see 3b.	
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		12. No. of References see 3b.	
		14. No. of Tables see 3b.	
		15. No. of Figures see 3b.	
16. Supplementary Notes -----			
17. Presented at (Title, Place, Date) -----			
18. Abstract The objective of the project was the scientific data evaluation of the magnetic field data of the Cluster II-Mission after a refinement of the raw data processing. In particular, discontinuities in the solar wind were investigated using magnetic field data from the Cluster II-array of four satellites. Among other results it turned out that many results from single satellite investigations in the past are at least questionable.			
19. Keywords Cluster II-magnetometer experiment, discontinuities in the solar wind			
20. Publisher see above: IGM		21. Price -----	