

## Weltraumplasmasimulationen

### 3D-Plasmasimulationen von Merkurs Magnetosphäre zur Vorbereitung der ESA-JAXA Mission BepiColombo

*U. Motschmann, W. Exner, S. Töpfer, Institut für Theoretische Physik, Technische Universität Braunschweig*

#### Kurzgefasst

- Sonnenwindwechselwirkung mit Merkur
- 3D-Simulationen von Weltraumplasmen mit Hybridcode A.I.K.E.F.
- Vergleich von Simulation zu Messungen von Messenger und BepiColombo

Die Astrophysik hat sich zu einer der am schnellsten fortschreitenden Wissenschaftsdisziplinen entwickelt. Immense Fortschritte in der Raumfahrttechnik und im Instrumentenbau liefern immer präzisere Messergebnisse und liefern neue Erkenntnisse über die Planeten unseres Sonnensystems. Dies ist insbesondere vonnöten, da im Gegensatz zu allen anderen Naturwissenschaften, die Forschungsobjekte der Astrophysik oft nur wenige Male untersucht werden können. Infolge der großen Entfernungen zu den zu erforschenden Objekten in, beispielsweise, dem Sonnensystem, führen lange Missionszeiten, die teilweise Dekaden übersteigen, zu enormen Anforderungen wissenschaftlicher und technischer Art. Die Hauptaufgabe besteht darin, die komplexen Daten tiefgründig und umfassend auszuwerten. Infolge von theoretischen Überlegungen und direkten Messungen werden Modelle erstellt, die für eine große Schar von Umgebungsparametern zu lösen sind. Da jegliche Umgebung eines Objektes im Weltraum in einem gewissen Abstand in eine Plasma-Umgebung übergeht, sind unsere Modell-Entwicklungen universell anwendbar und durch die Erfolge bei vergangenen Missionen von den Weltraumagenturen gefragt. Die zugrunde liegenden Gleichungen entstammen der kinetischen Plasmatheorie (Vlasov- und Boltzmann-Gleichung) und der Elektrodynamik (Maxwell-Gleichungen). Realistische Szenarien, wie sie in den verschiedenen Weltraum-Regionen erwartet werden und auch auftreten sind komplex und nur durch numerische Lösungsmethoden handhabbar. Der in der Arbeitsgruppe entwickelte Code AIKEF ist ein sehr effizientes Simulationswerkzeug, dass in seinen Vorgängerversionen erfolgreich in den Missionen Giotto, Rosetta, Cassini, MarsExpress, VenusExpress, und MESSENGER eingesetzt wurde.

Der kleinste und sonnennächste Planet in unserem Sonnensystem hat ein erdähnliches Magnetfeld,

welches aber ein um den Faktor 20 kleineres Volumen einnimmt. Dies liegt unter anderem an dem starken, sich stets veränderndem einwirkenden Sonnenwind. Wie also die aus der Erdmagnetosphäre bekannten Aufbausteine (beispielsweise Strahlungsgürtel) auf die Merkurmagnetosphäre skalieren, ist Gegenstand aktuellster Forschung. Ende 2018 ist die ESA-JAXA-Mission BepiColombo zum Planeten Merkur gestartet. Die TU-Braunschweig ist bei dieser Mission mit dem Bau des Magnetometers (Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik) und mit Modellstudien (eigene Arbeitsgruppe) beteiligt. Weitere Fragestellungen sind die Wechselwerkeigenschaften mit dem ankommenden Sonnenwind, die ionosphärisch/magnetosphärische Umgebung des Merkur, aber auch höheren Grade der Multipolentwicklung des planetaren Magnetfeldes. Bis zum endgültigen gebundenen Orbit um Merkur gegen Ende 2025 wird BepiColombo 6 Fly-bys vollführen. Davon ist der erste Flyby bereits im Oktober 2021 zu erwarten, der BepiColombo durch noch nie erforschte Regionen in niedrigen Höhen an der Nachtseite führt. Dies verspricht neue Einblicke in das magnetosphärische Geschehen nahe der Oberfläche.

Unser AIKEF-Code ermöglicht es, die magnetosphärischen Strukturen in Abhängigkeit von den planetaren Eigenschaften und Parametern des Sonnenwindes darzustellen. Destruktiv wirkt dabei das hoch variable Magnetfeld des Sonnenwindes, der nahe Merkur noch keinen Monitor besitzt. In unseren Simulationen können jedoch ganz verschiedene Sonnenwind-Szenarien implementiert werden, so dass eine statistisch begründete Erwartungshaltung entwickelbar ist.

Die aktuelle Version von AIKEF wurde in den letzten Jahren auf die Modellierung der Merkur-Umgebung spezialisiert. Insbesondere wurde ein realistisches Modell der Natrium-Exosphäre entwickelt und der Effekt der Magnetfeld-Rekonnexion mittels anomaler Widerstände eingeführt. Diese Simulationen erfordern nunmehr einen extrem hohem Simulationsaufwand, für den das HLRN seit mehreren Jahren außerordentlich gut geeignet ist. In freudiger Erwartung der kommenden BepiColombo Flybys werden wir innerhalb der nächsten 4 Jahre offene Fragestellungen der Merkurmagnetosphäre, Exosphäre und Stromsysteme angehen. Insbesondere werden wir uns für das nächste Jahr auf die höheren Momente des planetaren Magnetfeldes und der Interaktion extremster Sonnenwindbedingungen durch interplanetarer koronaler Massenejektionen

fokussieren.

#### WWW

<https://www.tu-braunschweig.de/theophys/plasma>

#### Weitere Informationen

- [1] Bagdonat, T., and U. Motschmann (2002), J. Comput. Phys, doi:10.1006/jcph.2002.7203
- [2] Mehr zum Nachlesen: <https://www.tu-braunschweig.de/theophys/plasma/res1> und <https://www.tu-braunschweig.de/theophys/plasma/res5>

#### Projektpartner

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik  
TU Braunschweig; Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen

#### Förderung

DFG HE8016/1-1