

die Satelliten selbst die Messungen nicht stören, befinden sich die Magnetometer auf einem Instrumentenarm, der die Hälfte der etwas über neun Meter langen Satelliten einnimmt. Weitere Instrumente dienen dazu, das elektrische Feld sowie die Eigenschaften der Restatmosphäre zu bestimmen, die zum Teil ionisiert ist.

Der Löwenanteil des Erdmagnetfelds (rund 95 Prozent) entsteht im flüssigen Erdkern durch den Geodynamo. Zu seinen Quellen tragen magnetische Gesteine der Erdkruste ebenso bei wie Ströme in der Iono- und Magnetosphäre. Daher lässt sich das Feld an der Erdoberfläche zwar in erster Näherung als das eines leicht gegen die Rotationsachse geneigten Stabmagneten (Dipol) im Erdmittelpunkt beschreiben, im Detail ist es aber wesentlich komplexer. So hat beispielsweise der Vorgängersatellit CHAMP gezeigt, dass die Feldstärke vor der Atlantikküste von Südamerika rasch abnimmt – etwas über zehn Prozent in dreißig



In einem speziellen Labor wurden die magnetischen Eigenschaften der SWARM-Satelliten getestet.

Jahren. Das SWARM-Trio soll ab Sommer 2012 mit bisher unerreichter Genauigkeit die zeitlichen und räumlichen Variationen des Erdmagnetfelds vermessen. Simulationen sollen es dann erlauben, die Beiträge der einzelnen Quellen zu bestimmen und damit sowohl einen tiefen Blick ins Erdinnere zu werfen als auch die hohe Atmosphäre und ihre Wechselwirkung mit dem Sonnenwind besser zu verstehen.

Auf deutscher Seite ist das Geoforschungszentrum GFZ in Potsdam, das bereits viel Erfahrung mit der CHAMP-Mission gesammelt hat, maßgeblich an der wissenschaftlichen Auswertung beteiligt. Die 200 Millionen Euro teure SWARM-Mission ist die vierte im Rahmen des ESA-Programms Earth Explorer. Die geplante Betriebszeit beträgt vier Jahre.

Stefan Jorda

USA

Roadmap für NASA-Technologie

Das National Research Council (NRC) hat im Auftrag der NASA deren Roadmaps für 14 verschiedene Technologiebereiche begutachtet und in der Studie „Space Technology Roadmaps and Priorities“ Empfehlungen dazu abgegeben.¹⁾ Die zentralen Zielvorgaben lauten: menschliche Aktivitäten jenseits des erdnahen Orbits aufrecht zu erhalten und auszudehnen; die Entwicklung des Sonnensystems und der Möglichkeit für Leben an anderen Orten zu erforschen und unser Verständnis der Erde und des Universums auszuweiten.

Für diese Zielvorgaben wurden in den verschiedenen Bereichen die Technologien ermittelt, deren Entwicklung die höchste Priorität haben sollte. So liegt bei den Antriebstechnologien der „Mikroantrieb“ für Satelliten bis 100 kg vorn, gefolgt vom elektrischen An-

trieb, der das Treibmittel elektrisch beschleunigt und ausstößt, und vom thermischen Nuklearantrieb, bei dem ein Kernreaktor das Treibmittel auf hohe Temperaturen bringt. Exotischere Antriebsformen wie Sonnensegel oder „Tether Propulsion“ mit Spannseilen erhielten nur geringe Priorität. Auch bei Robotern und autonomen Systemen steht die NASA vor vielen technischen Herausforderungen, sei es beim Rendezvous von Sonden, beim Manövrieren in der Schwerelosigkeit oder auf der Oberfläche von Himmelskörpern, sei es beim Erkennen oder bei der Manipulation und Analyse von Objekten. Mehrere Technologien haben hier hohe Priorität, z. B. die Mobilität in extremem Terrain, fingerfertige Manipulatoren sowie die zeitverzögerte Überwachung von Robotern. Auch die Nanotechnologie steht in einer NASA-Roadmap. Hier haben Nanosensoren und Nanoaktuatoren

die höchste Priorität, gefolgt von Leichtmaterialien und -strukturen sowie von Nanotreibmitteln, deren Effizienz durch nanostrukturierte Materialien erhöht wird. Die NRC-Studie lässt die großen technischen Herausforderungen erahnen, die mit zukünftigen bemannten und unbemannten Missionen im Sonnensystem einhergehen.

Appell für Untergrunddetektor

Nach dem Ausstieg der National Science Foundation aus der Finanzierung des Deep Underground Science and Engineering Laboratory (DUSEL)²⁾ stehen einige geplante Hochenergieexperimente, für die Detektoren im tiefen Untergrund benötigt werden, vor einer ungewissen Zukunft. In einem offenen Brief an das Department of Energy (DOE), das als potenzieller Geldgeber für DUSEL übriggeblieben

1) www.nap.edu/catalog.php?record_id=13354

2) Physik Journal, Aug./Sept. 2011, S. 12

ist, haben jetzt 40 führende Hochenergiephysiker – unter ihnen die Nobelpreisträger Sheldon Glashow, Steven Weinberg und Frank Wilczek – die Notwendigkeit eines Untergrunddetektors betont.³⁾

An erster Stelle nennen sie das Long Baseline Neutrino Experiment (LBNE), bei dem ein am Fermilab erzeugter Neutrinostrahl von Detektoren in der 1300 Kilometer entfernten Homestake-Mine in Süddakota aufgefangen werden soll. Hier gehe es neben der Messung der Mischungswinkel und der Massendifferenzen der drei Neutrinoarten vor allem darum, die CP-Verletzung durch die Neutrinos zu erforschen. Die deutliche Fürsprache für das 1,3 Milliarden US-Dollar teure LBNE kommt zur rechten Zeit, da das DOE im Laufe des Jahres endgültig über die Zukunft des Neutrinoexperiments entscheiden wird. An zweiter Stelle nennt der offene Brief die Suche nach dem Protonenzerfall. Schon ein großer, unterirdischer Detektor, dessen Empfindlichkeit zehnmal so groß ist wie die von Super-Kamiokande, hätte nach den Vorhersagen der Grand Unified Theory (GUT) gute Chancen, den Protonenzerfall nachzuweisen. Seine Beobachtung wäre eine revolutionäre Entdeckung und würde einen Blick auf die Physik bei Energien von 10^{16} GeV er-

öffnen – das ist eine Billion Mal so groß wie die am Large Hadron Collider (LHC) erreichbare Energie. Schließlich sei die Erforschung von Supernova-Neutrinos mit einem großen Untergrunddetektor für die Teilchen- und Kernphysik ebenso wichtig wie für die Astrophysik.

In ihrem Appell an das DOE räumen die Physiker ein, dass die Größe des benötigten Detektors durch Haushaltszwänge beschränkt sei. Erreichen ließen sich die wissenschaftlichen Ziele mit einem Detektor, der 100 000 Tonnen Wasser oder 34 000 Tonnen flüssiges Argon enthält. Die Forscher weisen darauf hin, dass solch ein großer Untergrunddetektor die Möglichkeiten des LHC ergänzen und es den USA ermöglichen würde, ihre führende Position in der Hochenergiephysik zu behaupten.

Trends der Wissenschaft

Alle zwei Jahre veröffentlicht die National Science Foundation mit den „Science and Engineering Indicators“ eine Fülle von statistischen Informationen über wissenschaftliche und technologische Entwicklungen in den USA und in zahlreichen anderen Ländern. Die neueste Ausgabe enthält Zahlen bis 2009 und zeigt, dass die USA

Kennzahlen zu F&E-Ausgaben 2009

Land/Region	Ausgaben in Mrd. \$	globaler Anteil in %	Anteil am BSB in %
USA	402	31,5	2,88
Asien-10	399	31,2	–
Europ. Union	298	23,4	1,90
Japan	138	10,8	3,33
China	154	12,1	1,70
Deutschland	83	6,5	2,78
Frankreich	48	3,8	2,22
Südkorea (2008)	44	3,4	3,36

bei den F&E-Ausgaben nur noch knapp vor den zehn führenden asiatischen Ländern liegen.⁴⁾ China hat seine F&E-Ausgaben von 2008 auf 2009 um 28 Prozent gesteigert und Japan klar vom zweiten Platz verdrängt (Tab.).

Bei der Zahl der Fachveröffentlichungen im F&E-Bereich konnten die europäischen Länder 2009 ihren Vorsprung vor den USA und Asien-10 behaupten.⁵⁾ Unter den einzelnen Ländern sind die USA jedoch weiterhin mit 208 601 Veröffentlichungen auf Platz eins (+1 % durchschnittliches jährliches Wachstum seit 1999), gefolgt von China mit 74 019 Veröffentlichungen (+16,8 %). Deutschland liegt knapp hinter Großbritannien auf Platz 5. Bei den ingenieurwissenschaftlichen Veröffentlichungen liegt Asien-10 mit großem Abstand vor der EU und den USA.

Rainer Scharf

3) <http://blogs.nature.com/news/files/2012/01/DOELetter1.pdf>

4) www.nsf.gov/statistics/seind12

5) Zu den Asien-10-Ländern gehören China, Indien, Indonesien, Japan, Malaysia, Philippinen, Singapur, Südkorea, Taiwan und Thailand

GROSSBRITANNIEN

Großes Geld für Graphen

Nachdem Konstantin Novoselov und Andre Geim von der University of Manchester für ihre Arbeiten zu Graphen den Physik-Nobelpreis 2010 erhielten, will die britische Regierung mit viel Geld das Land an der vordersten Front der Graphenforschung halten. Schon letzten Oktober hat sie zugesagt, dafür 50 Millionen Pfund zu investieren. Für David Delpy, Generaldirektor des Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC), ist das Anwendungspotenzial von Graphen „riesig“, einschließlich der Erschaffung neuer Materialien und

der Herstellung innovativer Elektronik. Das Geld sei ein wichtiger Schritt, um sicherzustellen, „dass wir die Vorteile dieser Anwendungen ernten können.“

Inzwischen steht auch fest, wofür das Geld ausgegeben werden soll: Der Großteil, nämlich 38 Millionen Pfund, soll in ein nationales Grapheninstitut bei der University of Manchester fließen, die weitere sieben Millionen zuschießt. Das Institut soll sowohl Forschern als auch Industriepartnern offenstehen, High-Tech-Jobs schaffen, internationale Experten anziehen und vor allem den Weg zu ersten kommerziellen Produkten aus dem

Wundermaterial Graphen ebnen. Die übrigen zwölf Millionen sollen über Forschungsanträge vergeben werden. Über die ursprünglich versprochenen 50 Millionen Pfund hinaus hat die Regierung kürzlich für die Förderung von Graphentechnologie und für ein Innovationszentrum zur Marktentwicklung jeweils weitere zehn Millionen in Aussicht gestellt.

Vielleicht werden also bald Touchscreens und Elektronik aus einlagigen Kohlenstoffschichten Wirklichkeit – made in Great Britain.

Sonja Franke-Arnold