

# Nützliche neue Begleiter am Himmel

**Satelliten als Erdbeobachtungsinstrumente haben eine lange Tradition auf dem Potsdamer Telegrafenberg**

Josef Zens<sup>1</sup>, Frank Flechtner<sup>1</sup>, Jens Wickert<sup>1</sup>, Christoph Förste<sup>1</sup>, Claudia Stolle<sup>1</sup>, Ludwig Grunwaldt<sup>1</sup>, Johannes Leicht<sup>2</sup>, Dietlinde Friedrich<sup>1</sup>, Sibylle Itzerott<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam

<sup>2</sup> Geschichtslotsen, Potsdam

*A glance at the stars and, based on their location in the night sky, the calculation of your individual position on Earth was one of the three approaches used 125 years ago by the Royal Prussian Geodetic Institute on the Telegrafenberg. When “Sputnik 1”, the Earth’s first artificial escort (lat. Satellite), took up duty in 1957 the night shift for an astronomical geodesist changed dramatically. From that moment on not only objects from the catalog on stars were taken into account but satellites were now also tracked. Since then, the role of satellites in all geoscientific research has been steadily increasing. For a long time, satellites have not only provided details on position, but this modern positioning also provides exciting insights into the Earth’s atmosphere. Furthermore, for years, satellites themselves have also provided images of the Earth’s surface so that geo-researchers can, thus, analyze ongoing processes on the surface of our planet. This paper presents a loose outline of the development of satellite application on the Telegrafenberg and puts the reader in the mood for the following articles on geoscientific applications of satellites at the GFZ.*



Seit Tausenden von Jahren bereits nutzen Menschen die Sterne zum Navigieren. Nicht nur der Polarstern weist den Weg nach Norden, sondern auch andere Gestirne und deren Höhe über dem Horizont. Aus der Position der Sterne und Planeten am Nachthimmel sowie deren Bahndaten lassen sich auch Rückschlüsse auf unseren eigenen Planeten ziehen, etwa zum „Tumeln“ der Erdachse, der so genannten Präzession. Seit gut 60 Jahren helfen uns zusätzlich künstliche Monde, die Satelliten, bei der Navigation und Erdbeobachtung. Den Anfang machte Sputnik 1. Sputnik heißt auf Russisch Begleiter oder Trabant. Der etwas mehr als 80 kg schwere, kugelförmige Sputnik 1 wird am 4. Oktober 1957 vom sowjetischen Weltraumbahnhof Baikonur aus in eine erdnahe Umlaufbahn geschossen. Was für den Westen zunächst ein Schock ist, erweist sich für die Wissenschaft rasch als Segen. Zahlreiche weitere künstliche Himmelskörper werden dem sowjetischen Flugkörper in den kommenden Jahrzehnten folgen.

Obwohl gewissermaßen nur passiv genutzt, sind bereits die ersten Satelliten bahnbrechend für die Erdbeobachtung. Aus der exakten Vermessung ihrer Orbits lassen sich Rückschlüsse auf das „Schwerefeld“ und die genaue Gestalt des Erdkörpers ziehen. Denn wäre unser Planet eine vollkommene Kugel, so würde ein Satellit mit seiner Bahn eine fest im Raum stehende Ellipse beschreiben. Da aber die Erde durch die Erdrotation an den Polen



Abb. 1: Vor 60 Jahren – Beginn der Satellitengeodäsie auf dem Telegrafenberg in Potsdam: Bahnvermessung des Sputnik 2 mit AT-1 und Stoppuhr (Foto: V. Kroitzsch)

Fig. 1: The beginning of satellite geodesy on the Telegrafenberg in Potsdam 60 years ago: Optical orbit tracking of Sputnik with AT-1 and a stop watch

etwas abgeplattet ist, wird aus der Ellipse eine Art sich um die Erde windende Spirale. So wollen es die Gesetze der Schwerkraft. Mehr noch: Wenn der künstliche Trabant beim Umkreisen der Erde unregelmäßig verteilte Massen wie Gebirge und Tiefseegräben passiert, kommt es zu weiteren Veränderungen seiner Flugbahn. Wer nur genau genug misst, erhält also auch Auskunft über das Schwerefeld der Erde.

## Sputnik ändert alles

Dass die Schwerkraft nicht an jeder Stelle des Globus konstant ist, hatten Potsdamer Wissenschaftler bereits Ende des 19. Jahrhunderts mit hoher Genauigkeit festgestellt. Ihr Messwerkzeug waren komplizierte Pendelapparate gewesen. Die Messungen des Königlich-Preußischen Geodätischen Instituts waren damals von so hoher Präzision, dass Geodäten aus aller Welt nach Potsdam reisten, um dort ihre Apparate an einer ganz bestimmten Stelle zu eichen. Noch heute zeugt die rote Steinplatte vor dem Gebäude A17 von diesem „Potsdamer Schwerewert“, der zwischen 1909 und 1971 als weltweiter Referenzwert galt.

Mit den Sputnik-Satelliten ändert sich das von Grund auf. Nachdem der Start von Sputnik 1 noch unangekündigt erfolgte, wird die Beobachtung von Sputnik 2 sorgfältig vorbereitet. Die sowjetische Akademie der Wissenschaften verteilt dafür spezielle Teleskope, mit denen die Bahn dieses Satelliten verfolgt werden kann. Zu den 70 Stationen auf dem Gebiet der damaligen Sowjetunion, die die Bahn beobachteten, kommen innerhalb kurzer Zeit nach dem Start mehr als 100 hinzu. Anfang des Jahres 1958 beteiligen sich über 200 Stationen in fast drei Dutzend Staaten der Welt an der Bahnvermessung des russischen „Begleiters“ und seiner weiteren, bald folgenden Gefährten im All. Auf diese Weise kann die Erdabplattung mit bis dahin unerreichter Genauigkeit bestimmt werden (Merson et al., 1958).

*Links: Satelliten sind heute ein Universalwerkzeug der Forschung, auch für die Geowissenschaften sind sie längst unersetzlich geworden. Die Fernerkundung des Systems Erde deckt den gesamten Bereich ab von der bildlichen Erfassung der Erdoberfläche über das Schwere- und Magnetfeld bis hin zu praktischen Anwendungen etwa im Bereich der Meteorologie. Das GFZ war und ist wesentlich bei Entwicklung, Bau und Betrieb zahlreicher geowissenschaftlicher Satellitenmissionen und -systeme beteiligt. Ziel ist die großräumige, flächendeckende und multitemporale Erfassung der Landoberflächen, der Ozeane, der Atmosphäre und des erdnahen Weltraums. (Bild im Hintergrund: Blick von der Internationalen Raumstation 2003; ISS Expedition 7 Crew, EOL, NASA)*

*Left: Today, satellites are a universal tool in research; they have likewise long become irreplaceable in the geosciences. Remote sensing of System Earth encompasses the entire field from visualization of the Earth's surface over the gravitational and magnetic field to practical applications in the field of meteorology. The GFZ has been and is significantly involved in the development, construction and operation of many geoscientific satellite missions and systems. The goal is the large-scale, comprehensive and multi-temporal registration of land surfaces, the oceans, the atmosphere and the Earth's immediate space environment.*



Kontakt: J. Zens  
(josef.zens@gfz-potsdam.de)

Es sollte nur wenige Jahre dauern, bis eigens für die Geodäsie entwickelte Satelliten zum Einsatz kommen. Der 1966 gestartete Ballonsatellit „PAGEOS“ (Passive Geodetic Satellite) der NASA beispielsweise hat eine spiegelnde Hülle, die ihn wie eine riesige Metallkugel aussehen lässt. Mit seinem 30 m Durchmesser ist er sogar auf seiner 4000 km hohen Umlaufbahn mit bloßem Auge zu erkennen. Ganz anders dagegen die LAGEOS-Flugkörper (Laser Geodynamics Satellite), die mit ihrem 60 cm Durchmesser und den vielen Reflektoren eher an eine Disco-Kugel erinnern.

## Laser halten Einzug in die Vermessung

Die Vermessung der Bahnen per Laser erfolgt ab den 1970er Jahren mit immer größerer Genauigkeit, die heute im Millimeterbereich liegt. Aus den Beobachtungen lassen sich z. B. jährliche Schwankungen der Erdabplattung an den Polen ermitteln. Die Ursache für diese Schwankungen sind Eis- und Schneeschmelze in den Polarregionen sowie Landhebungen auf der nördlichen Hemisphäre nach dem Rückgang der eiszeitlichen Vergletscherung. Der Telegrafenberg spielt bei diesen Messungen stets eine wichtige Rolle. Verfolgten die Potsdamer Geowissenschaftler Sputnik 2 noch mit Teleskopen auf Stativen und einer Stoppuhr (Abb. 1), so erhält das damalige Geodätische Institut Potsdam 1966 eine Spezialkamera für Satellitengeodäsie, angefertigt von der Firma Carl Zeiss in Jena. Der Helmerdturm wird eigens für diese Kamera – auch SBG für Satellitenbeobachtungsgerät genannt – umgebaut. 1974 hält die Lasertechnik auf dem Telegrafenberg Einzug, indem das SBG mit einem Rubin-Laser umgerüstet wird.

Unterdessen sind zu den passiven Satelliten auch aktive hinzugekommen. War die Erdbeobachtung aus dem All zunächst den Militärs vorbehalten, gewinnen die Satelliten rasch an Bedeutung für die Wissenschaft. Sie haben Sensoren an Bord, die Bilder und Messdaten aufnehmen und an Bodenstationen übermitteln. Dazu zählen zum Beispiel hochauflösende Kameras, die Licht in unterschiedlichen Wellenlängen einfangen – Multi- und später Hyperspektralkameras.

Eine der ersten dieser Art, die MKF-6 (wiederum von Carl Zeiss Jena, Abb. 2 und Infobox unten links), fliegt an Bord der sowjetischen Raumstation „Saljut 6“ und wird dort von Sigmund Jähn bedient, dem ersten Deutschen im All. Jähn wurde am Potsdamer Zentralinstitut Physik der Erde in der Fernerkundung promoviert, und ein Denkmal auf dem Telegrafenberg vor dem Helmerdturm erinnert an seinen siebentägigen Raumflug Ende August 1978.

## Die kuriose Geschichte des GFZ-1-Satelliten

Ob es ein Sinn für Ironie war oder nur Zufall, ist heute nicht mehr zu klären. Jedenfalls beginnen die geowissenschaftlichen Satellitenmissionen des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ in Potsdam auch mit einem „Trabant“, wie der russische Sputnik auf Deutsch heißt. Der „Space-Trabbi“ (Abb. 3 und Infobox unten rechts) ähnelt aber in seiner Form eher den LAGEOS-Satelliten als dem Ur-Trabanten im All. Sein offizieller Name lautet GFZ-1 (König et al., 1999). 1995 wird die ungefähr fußballgroße Kugel von der Raumstation „MIR“ aus in eine Umlaufbahn gebracht –

Die MKF-6, mit der Sigmund Jähn arbeitete, ist ein Meisterstück des Kamerabaus. Sie hat sechs Objektive und erfasst damit Licht in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen („Spektrien“): 460–500 nm (Blau), 520–560 nm (Grün), 580–620 nm (Gelb-Orange), 640–680 nm (Orange-Rot), 700–740 nm (Rot) und 780–860 nm (nahes Infrarot). Aus einer Höhe von rund 350 km nimmt sie mit den Objektiven sechs Bilder gleichzeitig auf, die jeweils Geländestreifen von etwa 225 km Breite und 155 km Länge umfassen. Die Auflösung beträgt im sichtbaren Bereich 10 bis 20 m. Das komplette Gerät samt Bedienelementen wiegt 175 kg.

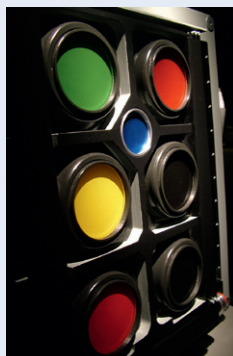


Abb. 2: Multispektralkamera MKF-6 (Foto: Ziko ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2009-07-21\\_ob\\_22\\_mkf-6\\_multispektralkamera.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2009-07-21_ob_22_mkf-6_multispektralkamera.JPG)), „2009-07-21 ob 22 mkf-6 multispektralkamera“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Fig. 2: Multispectral camera MKF-6

Die geringe Flughöhe macht GFZ-1 besonders empfindlich für die Erdanziehungskraft und damit sensitiv für die Unregelmäßigkeiten des Erdschwerefelds (Förste, 2017). Durch seine Daten erreicht die satellitengestützte Bestimmung des Schwerefelds der Erde ein weiteres Mal eine bis dahin nicht gekannte Genauigkeit. Es gibt noch eine Besonderheit: Obwohl GFZ-1 erst 1995 in die Umlaufbahn gebracht wird, führt ihn das Committee on Space Research COSPAR unter der Bezeichnung 1986-017JE, weist ihm also das Entstehungsjahr 1986 zu. Das liegt an der unkonventionellen „Start“-Methode, die dazu führt, dass der Space-Trabbi offiziell als Bruchstück der „MIR“ gelistet wird – und die war eben im Jahr 1986 gestartet.



Abb. 3: Der Mikrosatellit GFZ-1, 1995 (Foto: GFZ)

Fig. 3: The microsatellite GFZ-1, 1995

und zwar über die Müllklappe. Mit ihren 60 Prismen ist sie ein gutes Ziel für die Laser-Entfernungsmessstationen auf der Erde. Was GFZ-1 von LAGEOS und PAGEOS unterscheidet, ist in erster Linie seine niedrige Umlaufbahn, die ihn besonders sensitiv für die Unregelmäßigkeiten des Erdschwerefelds macht: Er kreist anfangs in 400 km Höhe über der Erde und sinkt im Lauf der Zeit auf rund 250 km ab, bevor er nach vier Jahren im Orbit verglüht.

### CHAMP revolutioniert unser Verständnis der oberen Atmosphäre



Abb. 4: Der CHAMP-Satellit in der Montagehalle, 2000 (Foto: Airbus DS GmbH)

Fig. 4: The CHAMP satellite in the assembly hall, 2000

Die Satellitenmissionen des GFZ werden mit den Jahren immer komplexer. So folgt auf GFZ-1 die multiinstrumentelle CHAMP-Mission (CHALLENGING Mini-satellite Payload, Abb. 4). Dieser Satellit wird in Potsdam konzipiert und vom damaligen Raumfahrtkonzern Astrium gebaut, der später Teil von Airbus (Airbus Defense and Space GmbH) wurde. Der Satellit wiegt etwas mehr als eine halbe Tonne und ist 8,33 m lang – allein der Ausleger für die Magnetfeldsensoren misst gut 4 m. CHAMP startet im Juli 2000 mit einer Kosmos-Rakete von Plessezk (Russland) seine Reise ins All. Am 19. September 2010, nach mehr als dem doppelten der ursprünglich geplanten Missionszeit, ist der Treibstoff verbraucht und CHAMP verglüht beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre.

CHAMP ist mit einem GPS-Empfänger ausgestattet, was im Gegensatz zu der Lasermethode aus GFZ-1 eine kontinuierliche Bahnvermessung im Sekundentakt ermöglicht. Die Auswertung genauer Satellitenbahnen zusammen mit Messungen der nicht-gravitativen Beschleunigung durch die angebrachten Akzelerometerbeobachtungen erhöht die Genauigkeit der Vermessung des Schwerefelds enorm.

Ebenso innovativ ist die GPS-Radiokokultationsmethode, mit der sich Aussagen zum globalen Wasserdampfgehalt und zur Temperatur der Atmosphäre ableiten lassen (vgl. Beitrag von Wickert et al. in diesem Heft, Seite 24). Diese Werte sind heute Bestandteil der Modelle, die zum Beispiel der Deutsche Wetterdienst für seine tägliche Vorhersage nutzt.

Die CHAMP-Mission revolutioniert die Erforschung des Erdmagnetfelds, der hohen Atmosphäre und Ionosphäre. Erstmals werden kontinuierlich hoch präzise Messungen des Erdmagnetfelds auf einem niedrig fliegenden Satelliten unternommen, die es erlauben, die Säkularvariation des Erdmagnetfelds global zu erfassen. Vor

allem während der letzten Jahre mit niedrigem Orbit werden durch CHAMP-Messungen die bis heute genauesten globalen Karten des Magnetfelds der Lithosphäre erstellt. Erstmals ist es möglich, diese elektrischen Ströme in der Ionosphäre zu beobachten, die bisher nur aus theoretischen Überlegungen vorhergesagt wurden, aber nun den Zusammenhang zwischen oberer Atmosphäre (Neutralgas), deren ionisierten Anteil und dem Erdmagnetfeld beweisen. Hermann Lühr und Kollegen entdecken unter anderem, dass sich auch nicht ionisierte neutrale Luft in diesen Höhen entlang des Magnetfelds ausrichtet und dass kleinräumige Strukturen der Elektronendichte eine Signatur im Magnetfeld hinterlassen (Lühr et al., 2012). Eine umfangreiche Zusammenstellung der multidisziplinären Ergebnisse der erfolgreichen CHAMP-Mission ist in Reigber et al. (2005) zu finden.

Auf den Erfahrungen von CHAMP aufbauend konzipiert die Europäische Raumfahrtagentur ESA eine weitere Satellitenmission: Swarm (Englisch für Schwarm). Drei baugleiche Satelliten umkreisen in einer Höhe von 400 bis 520 km Höhe seit 22. November 2013 die Erde. Die multiinstrumentelle Konstellation misst das Erdmagnetfeld und geophysikalische Variationen im erdnahen Weltraum mit bisher höchster Präzision (vgl. Beitrag von Stolle et al. in diesem Heft, Seite 32).

### Die (beinahe) ewige Jagd im All

Möglichst kontinuierliche Datenreihen sind das A und O der Forschung. So startet am 17. März 2002, während CHAMP noch fliegt, das Satellitenduo GRACE. Das Akronym steht für Gravity Recovery And Climate Experiment. GRACE wird sich zur bislang langlebigsten Satellitenmission des GFZ entwickeln: Ursprünglich auf fünf Jahre angelegt, verdreifachen die beiden Satelliten die Zeit ihrer endlosen Verfolgungsjagd um den Globus in der Anfangshöhe von knapp 500 km Höhe. Ende des Jahres 2017 wurde die Absturzphase eingeleitet. GRACE-2 verglühte am 24. Dezember 2017 in der Erdatmosphäre, während GRACE-1 noch bis zum März 2018 seine letzten Bahnen zieht. In den 15 Jahren Missionszeit lieferten „Tom und Jerry“ – so genannt wegen des Hintereinanderherjagens – nochmals genauere Daten zum Erdschwerefeld und seinen zeitlichen Veränderungen. Aus den monatlichen Karten des Schwerefelds lassen sich Informationen destillieren, die man zuvor für nicht möglich gehalten hatte: Eismassenbilanzen von Grönland oder der Antarktis lassen sich ebenso aufstellen wie deren Beitrag zum globalen Meeresspiegelanstieg (vgl. Beitrag von Dobslaw et al. in diesem Heft, Seite 18). GRACE blickt gleichsam unter die Erde und macht die Schwankungen des Grundwassers sichtbar. Das Satellitenduo ist ein Paradebeispiel dafür, wie aus einer verrückt klingenden Idee – aus winzigen Abstandsänderungen zweier Satelliten im All (siehe Infobox zum Satellite Laser Ranging nächste Seite) Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt an der Erdoberfläche zu ziehen – Realität wurde, mit greifbaren Ergebnissen von hohem Wert für die Klimaforschung und Gesellschaft. Auch die Radiokokultation spielt bei GRACE eine große Rolle und liefert Daten für die Wettervorhersage.

### Satellite Laser Ranging (SLR)

Als Satellite Laser Ranging (Laserentfernungsmessung zu Satelliten, SLR) wird ein kosmisch-geodätisches Verfahren bezeichnet, bei dem die Messung der Flugzeit von Lichtimpulsen zur hochpräzisen Bestimmung der Satellitendistanz genutzt wird. Dabei werden durch eine Bodenstation ultrakurze Laserimpulse mit Hilfe eines Teleskops auf das zu messende Objekt ausgesandt und reflektierte Signale wieder eingefangen. Die Flugzeit Erde-Satellit-Erde sowie die Sende-Epoche des Laserimpulses werden elektronisch registriert und aus der bekannten Lichtgeschwindigkeit kann die genaue Entfernung des Satelliten im Moment der Messung errechnet werden. Moderne SLR-Systeme wie das des GFZ (Abb. 5) gestatten dabei Genauigkeiten von besser als einem Zentimeter, unabhängig von der Entfernung des kosmischen Objekts.



Abb. 5: SLR-Station des GFZ  
Fig. 5: SLR station at GFZ

Diese hohe Genauigkeit setzt allerdings voraus, dass der Satellit mit einem speziellen Reflektor ausgerüstet ist, welcher die von der Erde ausgesendeten Laserimpulse exakt in die Richtung der Bodenstation zurücksendet. Das GFZ fertigt seit 1998 derartige Laser-Reflektoren (Abb. 6), die bereits auf einer Vielzahl von Raumflugmissionen zum Einsatz kamen (u. a. CHAMP, GRACE, Swarm oder TerraSAR-X, zukünftig auch auf der ISS). Dabei müssen die von optischen Firmen wie Zeiss Jena hergestellten Prismen höchsten Ansprüchen an die Fertigungsgenauigkeit genügen, um den durch die Geschwindigkeit des Satelliten hervorgerufenen Effekt der Lichtaberration zu korrigieren, der ansonsten zu einer starken Schwächung des Rückkehrsignals führen würde.

Vorteil des Laserverfahrens sind die Kleinheit und der robuste Aufbau des Reflektors am Satelliten, welcher vollkommen passiv arbeitet und selbst

nach dem Ausfall der aktiven Systeme des Raumflugkörpers noch funktioniert. Durch die Verwendung nur einer einzigen Stationsuhr für Flugzeit und Sende-Epoche wirken sich geringe Zeitfehler wesentlich weniger als beim GNSS-Verfahren auf die Entfernungsbestimmung aus, sodass SLR als externes Verfahren zur Kalibrierung und Validierung von Mikrowellensystemen auf vielen modernen Missionen zum Einsatz kommt und auch nahezu alle GNSS-Navigationsatelliten mit Laser-Reflektoren ausgerüstet sind.

Weitere zukünftige Einsatzgebiete des SLR-Verfahrens liegen im hochpräzisen Zeitvergleich von Atomuhren auf weit voneinander entfernten Stationen sowie in der Bahnverfolgung von Weltraumschrott mit deutlich besserer Genauigkeit, als das mit herkömmlichen Radarverfahren möglich ist. Auf beiden Gebieten laufen am GFZ Vorbereitungsarbeiten.

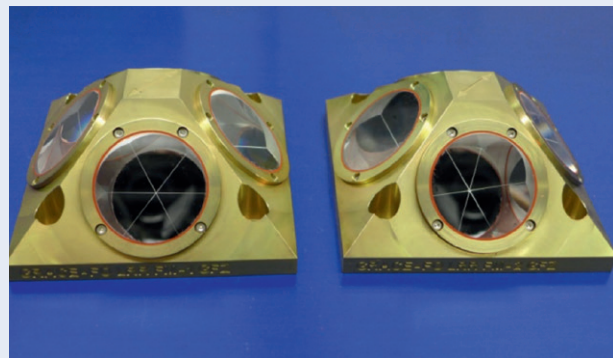


Abb. 6: Laser-Reflektoren für die GRACE-FO-Mission  
Fig. 6: Laser reflectors for the GRACE-FO mission

Die von NASA und GFZ realisierte Nachfolgemission des erfolgreichen Duos ist nahezu startbereit. Der „Launch“ ist für das Frühjahr 2018 vorgesehen. GRACE Follow-on (GRACE-FO) soll die Messgenauigkeit ein weiteres Mal erhöhen, um auch noch das letzte Tröpfchen an Information aus den Variationen der Erdanziehungskraft zu wringen (vgl. Beitrag von Flechtner et al. in diesem Heft, Seite 12).

## Ausblick

Es ist bei weitem nicht mehr nur die Forschung, die von Satellitenfernerkundung profitiert. Die moderne Landwirtschaft nutzt längst GPS-Navigation und Bodenkarten, um gezielt zu düngen. Sogar Rohstoffprospektion aus dem All ist möglich. Ausgewählte Erdbeobachtungsdaten sind daher über das Copernicus-Programm der Europäischen Union frei verfügbar. Um den Austausch von Informationen zu sichern, wurden „Copernicus Relays“ als Ansprechpartner für potenzielle Nutzer eingerichtet. Für die Region Nord-Ost ist das Relay in Potsdam zuständig, gegründet von GEOkomm, dem Verband der GeoInformationswirtschaft Berlin/Brandenburg, und dem GFZ. Die Sentinel-Satelliten der Europäischen Union werden hierfür wichtige Daten liefern.

Zu den zentralen Instrumenten der Erdbeobachtung gehören Weiterentwicklungen von Geräten wie es die MKF-6 war, Multispektral- und Hyperspektralscanner. Sie erfassen nicht mehr nur sechs Frequenzbänder, sondern hunderte. Aus den Daten solcher hyperspektraler Aufnahmesysteme lassen sich Materialeigenschaften noch besser als aus den bisherigen optischen Multispektraldaten bestimmen. Dabei erlaubt die Nutzung des gesamten optischen Wellenlängenspektrums in hoher Auflösung die detaillierte Abbildung von spektralen Reflexionseigenschaften einschließlich materialspezifischer Absorptions- und Reflexionsbanden.

Dieses Messprinzip wird seit Jahren erfolgreich auf der Labor- und Geländeskala sowie auf flugzeuggetragenen Plattformen eingesetzt. Mit der Satellitenmission EnMAP, an deren Entwicklung das GFZ maßgeblich beteiligt ist, sollen Hyperspektraldaten zukünftig auch von Satelliten aus erhoben werden (vgl. Beitrag von Spengler et al. in diesem Heft, Seite 38). Das GFZ stellt den wissenschaftlichen Leiter der EnMAP-Mission und ist im wissenschaftlichen Vorbereitungsteam verantwortlich für die Entwicklung von Analyseverfahren im Themenfeld von Boden und Geologie. Zusammen mit anderen derzeit in der Entwicklung befindlichen hyperspektralen Satellitenmissionen wird EnMAP die Weiterentwicklung von Methoden zur Informationsgewinnung aus Hyperspektraldaten und die weltweite Erschließung neuer Anwendungsfelder ermöglichen. So können beispielsweise in Kombination mit anderen Daten – seien es Meeresströmungen, Winde oder Klimadaten – Ernteprognosen für die Landwirtschaft erstellt oder auch Eintragswege von Plastikmüll ins Meer sichtbar gemacht werden.

Längst begnügen sich die Forscherinnen und Forscher nicht mehr damit, Daten für einzelne Parameter zu erheben, die sie dann in ihrer Community teilen. Vielmehr konzipieren sie ihre Missionen von Beginn an so, dass auch ein gesellschaftlicher Nutzen entsteht. Sie arbeiten in großen Teams zusammen und integrieren zahlreiche Messmethoden. Mit der neuen Generation von Erdbeobachtungssatelliten und innovativen Verfahren der Verarbeitung immenser Datenmengen machen sie Veränderungen der Umwelt sichtbar und Erkenntnisse für Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft nutzbar.

## Literatur

- Förste, C. (2017): Geowissenschaftliche Satellitenmissionen. *Geoscientific Satellite Missions*. - In: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches Geo-Forschungszentrum GFZ (Ed.), Fokus: Erde: von der Erdvermessung zum System Erde = Focus: Earth, Berlin, München: Deutscher Kunstverlag GmbH, pp. 104–108.
- König, R., Chen, Z., Reigber, C., Schwintzer, P. (1999): Improvement in Global Gravity Field Recovery Using GFZ-1 Satellite Laser Tracking Data. - *Journal of Geodesy*, 73, pp. 398–406. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001900050259>
- Lühr, H., Park, J., Ritter, P., Lui, H. (2012): In-situ CHAMP observation of ionosphere-thermosphere coupling. - *Space Science Reviews*, 168, 1-4, pp. 237–260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11214-011-9798-4>
- Merson, R. H., King-Hele, D. G. (1958): Use of artificial satellites to explore the Earth's gravitational field: results from Sputnik-2 (1957ß). - *Nature*, 182, 4636, pp. 640–641. DOI: <https://doi.org/10.1038/182640a0>
- Reigber, C., Schwintzer, P., Lühr, H., Wickert, J. (2005): *Earth Observation with CHAMP: Results from Three Years in Orbit*, Berlin [u.a.]: Springer, 628 p.