

Genesis für die Weltraum-Geodäsie

Martin Bünnagel

■ Von Klimawandel, dem Management von Naturkatastrophen bis zur Navigation und Satellitenmissionen – für Wissenschaft, IAG und UNO steht fest: Die Welt braucht einen Internationalen Terrestrischen Referenzrahmen (ITRF) im Millimeterbereich. Die für 2027 vorgeschlagene GENESIS-Satelliten-Mission der ESA markiert einen Meilenstein auf diesem Weg.

Für viele wissenschaftliche und gesellschaftliche Ziele des 21. Jahrhunderts sind 1,0 Millimeter das Maß aller Dinge. Bei einer Langzeitstabilität von 0,1 Millimetern pro Jahr ist dieses Ziel für einen gemeinsamen globalen Terrestrischen Referenzrahmen nicht nur in der Resolution 69/266 der Vereinten Nationen (UNO) verankert, sie ist auch Konsens der International Association of Geodesy (IAG), die sie als Anforderung im Rahmen der GGOS-Initiative (Global Geodetic Observing System) an die Geodäsie für die Geowissenschaften formuliert hat. Ein Internationaler Terrestrischer Referenzrahmen (ITRF) also – so hält es die UNO ausdrücklich fest –, der seinen vollen gesellschaftlichen Nutzen nur dann entfalten kann, wenn sich auf regionaler, nationaler und globaler Ebene alle auf ihn beziehen.

Doch von den ehrgeizigen Genauigkeits- und Stabilitätszielen von UNO, IAG und Geowissenschaften zur Realisierung eines ITRF von einem Millimeter ist die Welt heute noch ein Stück entfernt. Der Referenzrahmen erreicht derzeit eine maximale Genauigkeit von bis zu 3 Millimetern. Heute wird der ITRF durch Stationskoordinaten und Geschwindigkeiten für eine global verteilte Gruppe von mehr als 400 Bodenstationen unter Verwendung einer Kombination der vier wichtigsten weltraumgeodätischen Techniken realisiert: Durch das Globale Satellitennavigationssystem (GNSS), durch ein Funk-Satellitenverfolgungssystem, genannt Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS). Zudem durch das SLR-Verfahren (Satellite Laser Ranging) und durch die Technik der Very Long Baseline Interferometry (VLBI), die die Signale von Quasaren nutzt; siehe dazu auch den zfv-Beitrag von Monika Rech: »ITRF2020: Mit Präzision das System Erde verstehen« (zfv 4/2022).

Eine Kombination und gemeinsame Nutzung aller vier weltraumgeodätischen Techniken auf einer Satellitenplattform könnte wesentlich zur Erreichung der genannten Ziele beitragen. Dies ist der Zweck der GENESIS-Mission, die als Bestandteil des Future-NAV-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) vorgeschlagen wurde.

Ein Team aus 46 internationalen Wissenschaftlern aus Disziplinen von Geophysik und Geodäsie bis hin zu Zeit- und Frequenzmetrologie, Navigation und Positionsbestimmung gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der

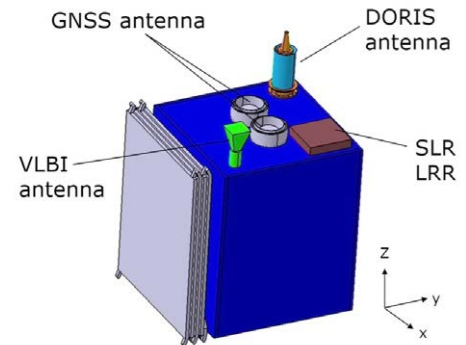
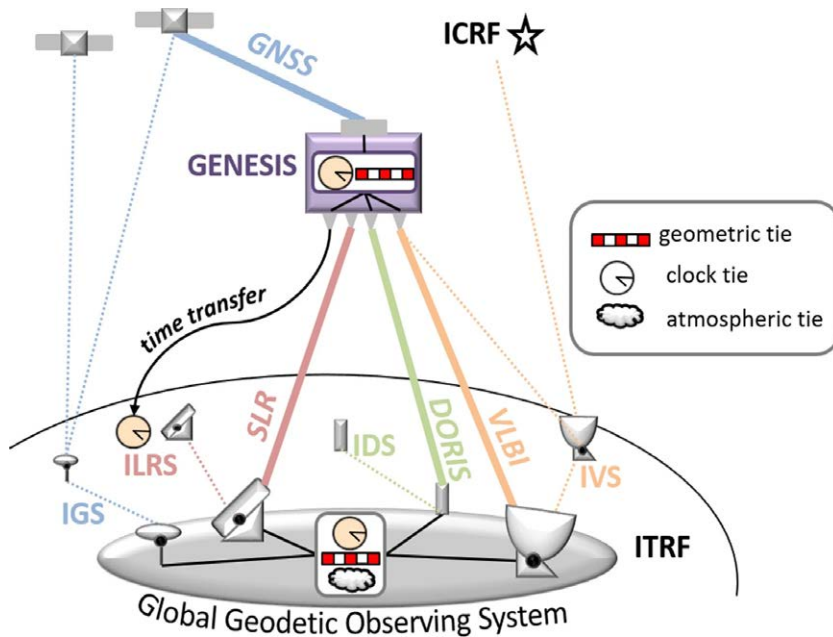
Technik und erläutert die Vorteile der GENESIS-Mission für die Geowissenschaften und die Metrologie. Eindringlich weisen die Autoren der Studie »GENESIS: co-location of geodetic techniques in space« darauf hin, wie wichtig die Kenntnis des ITRF für die politische Entscheidungsfindung im Hinblick auf den Klimawandel ist. Verlässliche evidenzbasierte Politik, die auf solche operativen Daten zurückgreife, hänge direkt von der Qualität des internationalen Referenzrahmens ab.

Denn die Kenntnis, Nutzung und Verbesserung eines weltweit anerkannten ITRF und die Homogenisierung von Zeit- und Raumreferenzsystemen ist von grundlegender Bedeutung, um die dynamische Erde untersuchen und Veränderungen in Raum und Zeit sinnvoll zuordnen zu können. Zugleich steigt die Nachfrage nach hochpräziser Positionierung, Navigation, Zeitmessung, Kartierung, Georeferenzierung von Geodaten und anderen geowissenschaftlichen Anwendungen. GENESIS zielt nun darauf ab, die Zeit- und Raumreferenzen auf der Erde zu vereinheitlichen und das terrestrische Referenzsystem mit einer Genauigkeit von einem Millimeter und einer Langzeitstabilität von 0,1 Millimetern pro Jahr zu realisieren. Die ESA-Mission habe einen kalkulierten Kostenrahmen von 80 Millionen Euro, berichtet Urs Hugentobler von der Technischen Universität München. »Davon sind 64 Millionen über Zusagen aus Frankreich, Italien, Belgien, Schweiz und Ungarn finanziert«, sagt Hugentobler. Deutschland habe bislang keine Finanzierungszusage getroffen.

Klimawandel und Meeresspiegel

Aus gesellschaftlicher und politischer Sicht ist ein genauer ITRF für die Überwachung des Klimawandels und für das Management von Naturkatastrophen von wesentlicher Bedeutung. Hochrelevant ist dabei der globale Meeresspiegelanstieg, der im 20. Jahrhundert bereits um 15 Zentimeter gestiegen ist, also etwa 1,5 Millimeter pro Jahr. Inzwischen steigt der Pegel mehr als doppelt so schnell: Etwa 3,7 Millimeter pro Jahr mit einer jährlichen Zunahme von 0,1 Millimetern. Zu diesem Ergebnis kommt der Weltklimarat (IPCC) im Weltklimabericht vom April 2022.

Seit dem letzten Jahrhundert werden die Messungen des Meeresspiegelanstiegs von weltweit verteilten Gezeitenpegeln abgeleitet – relativ zu dem Land, an dem sie angebracht sind. Um die Veränderung des Meeresspiegels in einem globalen Bezugsrahmen zu messen, sind die Gezeitenpegel mit Hilfe von GNSS-Stationen geodätisch an den ITRF angebunden. Die Möglichkeit, den aktuellen Meeresspiegelanstieg auf globaler oder lokaler Ebene zu beobachten, wird jedoch durch die Stabilität des Terrestrischen Referenzrahmens begrenzt, das heißt, von der messtechnischen Grundlage für die Bestimmung der vertikalen



↑ Der metergroße GENESIS-Satellit mit geodätischer Nutzlast zur Bestimmung der Position von Beobachtungsstationen*

← GENESIS führt vier weltraumgeodätische Techniken (GNSS, SLR, VLBI und DORIS) auf einem Satelliten zusammen.**

Bewegungen der Stationen auf der Erdoberfläche. Die Stabilität des Referenzrahmens ist eine der Hauptfehlerquellen bei der Bestimmung des globalen und regionalen Meeresspiegelanstiegs.

Millimeterarbeit für die Geodäsie

Doch einer der Hauptmängel der vier wichtigsten weltraumgeodätischen Techniken GNSS, SLR, DORIS und VLBI liegt in der Schwierigkeit, die lokalen Verbindungen zwischen den Referenzpunkten (Achsenabstände großer Instrumente, Phasenzentren von Antennen) genau zu messen. Zählt man die Anzahl der Verbindungen zwischen VLBI, SLR und DORIS, so gibt es 11 VLBI-SLR-, 12 VLBI-DORIS- und 11 SLR-DORIS-Verbindungen. Diese Anzahl ist zu gering, um eine zuverlässige Kombination dieser drei Techniken allein zu ermöglichen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass jede Technik ihre eigenen systematischen Auswirkungen hat und noch unbekannte Mängel aufweisen kann.

Um die Situation grundlegend zu verbessern, soll die GENESIS-Satelliten-Mission eine hochgenaue Ergänzung der vier weltraumgeodätischen Verfahren aus GNSS, SLR, DORIS und VLBI ermöglichen. GENESIS soll nicht nur GNSS und VLBI, sondern auch SLR und DORIS kombinieren und die Schwächen der einzelnen weltraumgeodätischen Techniken überwinden.

GENESIS wird also ein kalibrierter Referenzpunkt im Weltraum sein, der alle Bodenstationen miteinander verbindet. Die Satellitenplattform soll Verbindungsvektoren im Raum zwischen physischen Antennenphasenzentren liefern, die eine hochpräzise Verknüpfung von GNSS-Beobachtungen mit den anderen weltraumgeodätischen

Techniken ermöglicht. Auf diese Weise kann GENESIS alle instrumentellen Verzerrungen der verschiedenen Beobachtungstechniken gleichzeitig bestimmen. Dies ist entscheidend, um systematische Fehler zu vermeiden, die zu Fehlinterpretationen der Unterschiede zwischen den Techniken führen können. Auf diese Weise soll GENESIS den ITRF über GNSS mit einer Genauigkeit von einem Millimeter an jeden beliebigen Punkt der Erde übertragen können.

Um dies alles zu realisieren, wird GENESIS mit einem Array passiver SLR-Retroreflektoren (P-LRR), einem DORIS-, einem GNSS-Empfänger und einem VLBI-Sender ausgestattet sein, der geodätische VLBI-Stationen mit anderen geodätischen Techniken verbindet. Das sei das Basis-Setup des Satelliten, berichtet Urs Hugentobler von der TU München. Die zusätzliche Installation eines aktiven Laser-Retro-Reflektors (A-LRR) wird ebenfalls geprüft, um eine genaue Zeitübertragung zwischen den SLR-Bodenstationen zu ermöglichen.

Und auch Einstein soll bei der für 2027 vorgeschlagenen GENESIS-Mission der ESA mitfliegen: Die Internationale Astronomische Union hat empfohlen, die Allgemeine Relativitätstheorie als theoretischen Hintergrund für die Definition von Raum-Zeit-Bezugssystemen einzuführen. Die Anwendung der Relativitätstheorie ist unerlässlich, um die erforderliche geodätische Genauigkeit und Stabilität eines hochpräzisen ITRF zu erreichen und kleinste Veränderungen in den Komponenten des Erdsystems zu erkennen. So soll GENESIS die Allgemeine Relativitätstheorie konsequent anwenden und sie zugleich in der Weltraumgeodäsie und den beteiligten Bezugssystemen mit einer noch nie dagewesenen Genauigkeit verifizieren.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de

* Quelle: ESA

** Quelle: White Paper GENESIS: co-location of geodetic techniques in space

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.