

Dringlichkeit für GENESIS

Martin Bünnagel

■ Die UN warnt in ihrem aktuellen Bericht »State of Geodesy 2026« vor Risiken und Schwachstellen in der globalen geodätischen Lieferkette zur Bestimmung des ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Aus Sicht des »United Nations Global Geodetic Centre of Excellence« (UN-GGCE) in Bonn steigt dadurch die Dringlichkeit für ein Vorhaben der Europäischen Weltraumorganisation ESA, das sich verzögert hat: die ursprünglich für 2027 geplante Satellitenmission GENESIS. An der Realisierung sind auch deutsche Institutionen beteiligt. Im Konsortium von GENESIS-D laufen die Vorbereitungen für den nun für 2028 geplanten Missionsstart auf Hochtouren.

Als ein Forschungskonsortium unter Federführung der französischen Raumfahrtagentur »Centre National d'Études Spatiales« (CNES) die Anstiegsrate des Meeresspiegels zwischen 1993 und 2021 untersuchte, ahnten die beteiligten Wissenschaftler nicht, wie weitreichend die Probleme in den globalen geodätischen Lieferketten (Global Geodesy Supply Chain) sind, die für eine präzise Messung des Meeresspiegels benötigt werden. Versteckt in den Daten fanden die Wissenschaftler eine unerwartete Fehlerquelle: den Internationalen Terrestrischen Referenzrahmen (ITRF). (Siehe zum Thema ITRF auch den zfv-Beitrag von Monika Rech: »ITRF2020: Mit Präzision das System Erde verstehen«, zfv 4/2022, DOI: 10.12902/zfv-0401-2022.)

Diese Fehlerquelle übertrifft auf lange Sicht fast alle anderen Fehlerursachen der Satellitenaltimetrie-Messungen. Die Autoren zeigten in der 2023 veröffentlichten Studie, dass bei langen Messreihen über 20 Jahre hinweg die Unsicherheiten des ITRF bei der Bestimmung des globalen Meeresspiegeltrends gegen Ende des untersuchten Altimetrie-Zeitraums bis zu rund 15 Prozent der gesamten Trendunsicherheit ausmachten.

UNO warnt vor Schwächen des ITRF

Im gleichen Jahr der Veröffentlichung der CNES-Studie wurde das UN-Exzellenzzentrum der Geodäsie in Bonn eröffnet (UN-GGCE). Bereits seit 2023 warnt das UN-GGCE vor Schwächen in den globalen geodätischen Lieferketten, dem weltweiten Netz aus Messstationen und Datenzentren zur Bestimmung des ITRF. Zuletzt im Bericht »State of Geodesy 2026«.

Der ITRF bildet das Fundament für alle nationalen Kataster- und Vermessungssysteme, für die zivile Luftfahrt, die Meereskartierung und die Bahnbestimmung sämtlicher Erdbeobachtungs- und Kommunikationssatelliten – und eben auch für die Messung des Meeresspiegelanstiegs mit Hilfe der Satellitenaltimetrie. Auf der INTERGEO 2026 wurde dem UN-GGCE für sein internationales

Engagement für eine leistungsfähige und zukunftssichere globale geodätische Infrastruktur der »Zukunftspreis« des DVW e. V. verliehen.

Die UN bemängelt unter anderem unzureichende Finanzierungs-, Steuerungs- und Koordinationsstrukturen des ITRF. Dessen Lieferkette besteht aus weltweit verteilten Beobachtungsstationen der vier zentralen geodätischen Raumverfahren: »Global Navigation Satellite System« (GNSS) und »Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite« (DORIS) sowie aus SLR-Verfahren (Satellite Laser Ranging) und aus der Technik der »Very Long Baseline Interferometry« (VLBI). Neben diesen Observatorien existieren auch einige wenige Fundamentalstationen, die alle vier weltraumgeodätischen Verfahren (GNSS, VLBI, SLR, DORIS) gleichzeitig betreiben. Eine der wichtigsten weltweit ist dabei die Fundamentalstation Wettzell im Bayerischen Wald.

In drei Rechenzentren weltweit – in den USA, in Frankreich und in Deutschland am Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM) – werden die globalen Daten über mathematische Ausgleichungsrechnungen verschmolzen. Das Ergebnis dieser Zusammenführung ist der International Terrestrial Reference Frame (ITRF), der alle paar Jahre in einer neuen Version (wie dem aktuellen ITRF2020) berechnet und veröffentlicht wird.

Ungleiche Verteilung der Lieferketten

In ihrem aktuellen Bericht warnt die UN vor Risiken, die aus dem Zustand der Observatorien entstehen können. Mehr als die Hälfte der VLBI-Stationen weltweit seien alt oder in ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. Vor allem bemängelt die UN aber, dass sich die Infrastruktur der gesamten Lieferkette auf nur wenige Regionen stütze – hauptsächlich im globalen Norden – während die Südhalbkugel deutlich schwächer besetzt sei. Das gilt besonders für die SLR-Infrastruktur: Von 46 derzeit als operativ geführten SLR-Stationen liegen lediglich acht südlich des Äquators. Beim VLBI sind es nur 11 von 38 Stationen. Doch der Verlust einer einzigen SLR- oder VLBI-Station im globalen Süden, warnt die UN, könne den ITRF weltweit verschlechtern.

Dies führt zu Ungenauigkeiten im ITRF – wie jenen, die die französische Raumfahrtagentur in der Berechnung des Meeresspiegelanstiegs entdeckt hat – primär durch technische Einschränkungen der globalen Messnetze, minimale Messungenauigkeiten der Bodenstationen und durch die unvollständige geografische Abdeckung. Derzeit erreicht der ITRF eine maximale Genauigkeit von bis zu 3 Millimetern. Das Ziel der »Internationalen Assoziation für Geodäsie« (IAG), einen Millimeter Genauigkeit und eine Langzeitstabilität von 0,1 Millimetern pro Jahr zu erreichen,

scheint über die irdischen Lieferketten derzeit nur schwer erreichbar.

GENESIS für den ITRF

Deshalb blickt die UN in ihrem aktuellen Bericht auch in den Weltraum. Denn angesichts der Schwächen und Risiken in den Lieferketten gewinnt ein Vorhaben der Europäischen Weltraumorganisation ESA an Dringlichkeit, das im UN-Bericht als herausragende technologische Entwicklung hervorgehoben wird: die GENESIS-Mission. Einer Fundamentalstation gleichend – wie jener in Wettzell (aber im Weltraum) – sollen in einem einzigen, 400 Kilogramm schweren Satelliten erstmals alle vier geodätischen Raumverfahren (GNSS, VLBI, SLR und DORIS) auf einer polaren Umlaufbahn in 6.000 Kilometern Höhe um die Erde kreisen. So will die ESA ab 2028 dafür sorgen, dass das IAG-Ziel eines hochpräzisen ITRF doch noch erreicht werden kann.

Know-how aus Deutschland

Grundvoraussetzung für einen Erfolg des unter dem FutureNAV-Programm der ESA entwickelten Projekts sind wissenschaftliche Vorarbeiten und eine Weiterentwicklung der geodätischen Softwareinfrastruktur. Dafür sorgt das in Deutschland formierte nationale Konsortium GENESIS-D, das von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR gefördert wird.

In GENESIS-D kooperieren das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), das GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung, das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM), das Institut für Geodäsie und Geoinformation der Universität Bonn (IGG Uni-Bonn), die Technische Universität Berlin (TU Berlin) und die GeoBM GmbH. Ein wichtiges Werkzeug ist dabei das Softwarepaket EPOS-OC, das am GFZ seit Jahrzehnten für die Auswertung weltraumgeodätischer Beobachtungen und die präzise Bahnbestimmung von Satelliten eingesetzt wird. EPOS-OC wurde inzwischen so erweitert, dass es die vier zentralen weltraumgeodätischen Verfahren GNSS, SLR, DORIS und VLBI auf Beobachtungsebene verarbeiten kann. Damit entsteht die Grundlage, die unterschiedlichen Beobachtungen der GENESIS-Mission konsistent in einer gemeinsamen Auswertung zu verarbeiten und ihre Informationen für die Bestimmung des Referenzrahmens zusammenzuführen.

Wissenschaftliche Grundlagen

Ein Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten am GFZ Potsdam liegt zudem in der Erprobung von Auswerteverfahren an bereits verfügbaren Satellitendaten. Da GENESIS noch nicht im Orbit ist, greifen die Wissenschaftler unter anderem auf Daten der Altimetriesatelliten Sentinel-3A, Sentinel-3B und Sentinel-6A Michael Freilich zurück. Diese Sa-

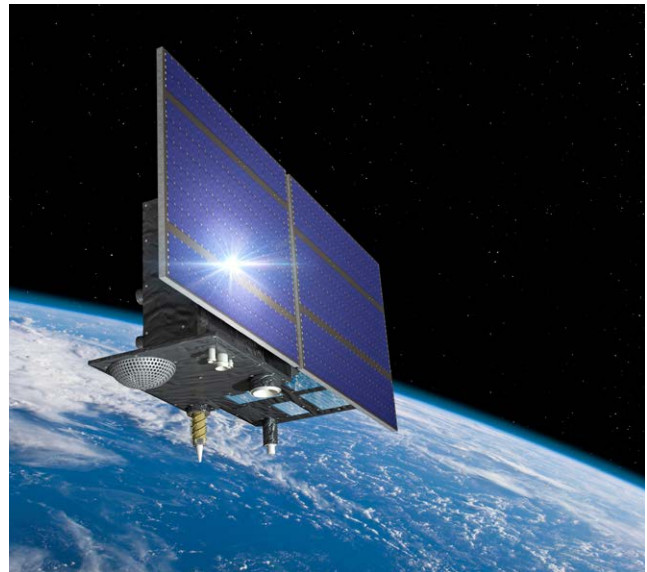


Bild-Quelle: ©ESA; Photo: ESA/Cluster, D. Ducros

Die extreme Genauigkeit von Genesis wird erreicht, indem die vier geodätischen Raumverfahren (GNSS, VLBI, SLR und DORIS) an Bord eines einzigen Satelliten vereint sind, der als fliegendes Observatorium fungiert.

telliten ermöglichen bereits eine Verknüpfung von GNSS, DORIS und SLR. Sie dienen damit als reale Testfälle für die Vorbereitung der GENESIS-Mission. Das IGG Uni-Bonn berät das GFZ bei umfangreichen Simulationsstudien zur Vorbereitung der Mission. Dabei geht es unter anderem um die Kombination verschiedener Beobachtungs- und Verknüpfungsstrategien für den terrestrischen Referenzrahmen.

Ein weiterer Eckpfeiler des Projekts liegt beim DGFI-TUM. Für GENESIS-D geht es in München darum, die Auswerte- und Kombinationsverfahren so weiterzuentwickeln, dass die Daten von GENESIS künftig konsistent in die Realisierung des ITRS (International Terrestrial Reference System) integriert werden können, um den ITRF berechnen und bereitstellen zu können.

Entscheidende Rolle nach Missionsstart

Mit dem Start von GENESIS und der anschließenden Inbetriebnahme wechselt die Rolle der deutschen Partner in den Regelbetrieb. Auf der Softwareseite sind das GFZ und das BKG eingebunden. Das GFZ soll dann unter anderem mit EPOS-OC die präzise Bahnbestimmung von GENESIS unterstützen und die komplexen Beobachtungen des Satelliten auswerten.

Das DGFI-TUM wird die GENESIS-Beobachtungen in die Berechnung künftiger Referenzrahmen integrieren. Ziel ist es, die vier geodätischen Techniken über den »Ankerpunkt« im Weltraum enger zu verknüpfen und damit die angestrebte Genauigkeit von etwa einem Millimeter bei einer langfristigen Stabilität von 0,1 Millimetern pro Jahr zu ermöglichen. Bis Ende des Jahres will die ESA die finale Konstruktionsprüfung des Satelliten abschließen und grünes Licht für den Bau von GENESIS geben.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de