

Globale terrestrische geodätische Referenzrahmen als Grundlage der Erdsystembeobachtung

Ein Beitrag von SUSANNE GLASER und HARALD SCHUH

Die Bereitstellung geeigneter globaler terrestrischer geodätischer Referenzrahmen ist von hoher gesellschaftlicher Relevanz und von ausschlaggebender Bedeutung für ein tiefgreifendes Verständnis des Systems Erde. Dies wird deutlich, wenn es um eine genaue und zuverlässige Quantifizierung und Prognose des globalen Meeresspiegelanstiegs geht. Die Unsicherheiten im Referenzrahmen sind eine Hauptfehlerquelle bei der Bestimmung des globalen Meeresspiegels. Daher will man die Genauigkeitslimitierenden Effekte in der Bestimmung von Referenzrahmen aufdecken und minimieren. Simulationen von Referenzrahmen sind dafür ein nützliches Hilfsmittel.

Referenzrahmen | GGOS | GNSS | SLR | VLBI | DORIS | Simulationen
reference frame | GGOS | GNSS | SLR | VLBI | DORIS | simulations

The provision of suitable global terrestrial geodetic reference frames is of high social relevance and of crucial importance for a profound understanding of the Earth's system. It is evident for an accurate and reliable quantification and prediction of global sea-level rise. The uncertainties in the reference frames are a major error source in the determination of global sea-level rise. Therefore, the accuracy limiting effects in the determination of reference frames have to be detected and minimised. Simulations of reference frames are a useful tool for this purpose.

Autoren

Dr.-Ing. Susanne Glaser ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches Geo-Forschungszentrum GFZ. Prof. Dr. Dr. h.c. Harald Schuh ist dort Direktor am Department 1 »Geodäsie«.

susanne.glaser@gfz-potsdam.de

1 Einleitung

Globale terrestrische geodätische Referenzrahmen stellen die Realisierung von Referenzsystemen dar. Diese können als dreidimensionale kartesische Koordinatensysteme der Erde verstanden werden. Terrestrische Referenzrahmen werden durch Positionen und Geschwindigkeiten global verteilter Beobachtungstationen angegeben. Eine integrierte Erdsystembeobachtung auf Basis von verschiedenen geodätischen Beobachtungen bedingt genaue und konsistente Referenzrahmen, da sie eine absolute Referenz für die zunächst nur relativen Messgrößen, wie Satellitenbeobachtungen des Globalen Positionierungssystems GPS, gewährleisten. Gegenwärtig, insbesondere in Zeiten des Klimawandels und der Bedrohung der Bevölkerung durch Naturgefahren, bilden hochgenaue Referenzrahmen eine ganz entscheidende Grundlage für die erforderliche Erfassung von Prozessen im System Erde. Unsicherheiten im Referenzrahmen spiegeln sich in gleicher Weise in den geodätischen, geophysikalischen und ozeanographischen Größen wider, die auf Basis des Referenzrahmens bestimmt werden. Es wird angenommen, dass die Genauigkeit in der Bestimmung des globalen Meeresspiegelanstiegs zu einem beträchtlichen Maße durch die Unsicherheiten im derzeit ver-

fügbaren globalen Referenzrahmen limitiert ist. Laut Sachstandsbericht des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) ist der Meeresspiegel im globalen Mittel um 3,1 mm pro Jahr gestiegen (WCRP Global Sea Level Budget Group 2018; IPCC 2019; Oppenheimer et al. 2019). Angesichts dessen wird gefordert, dass globale Referenzrahmen mindestens eine Größenordnung genauer sind. Auf dieser Grundlage sind die konkreten Forderungen des Globalen Geodätischen Beobachtungssystems (GGOS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) entstanden: Ein Referenzrahmen soll eine Genauigkeit von mindestens einem Millimeter und eine Langzeitstabilität von einem Millimeter pro Dekade aufweisen.

Die aktuelle offizielle Realisierung ITRF2014 (International Terrestrial Reference Frame 2014) (Altamimi et al. 2016) erreicht diese geforderte Genauigkeit und Langzeitstabilität bisher allerdings nicht. Es wird in der Geodäsie international intensiv an der Erstellung hochgenauer Referenzrahmen gearbeitet (Abschnitt 2), um ein genaues und zuverlässiges Monitoring verschiedener Erdsystemprozesse, vor allem des Meeresspiegelanstiegs, zu ermöglichen (Abschnitt 3). Geplante Entwicklungen in der Referenzrahmenbestimmung können dabei fundiert mittels geeigneter

Simulationen (Abschnitt 4) abgeschätzt und bewertet werden.

2 Erstellung hochgenauer Referenzrahmen

Für einen möglichst genauen und stabilen Referenzrahmen werden vier geodätische Weltraumverfahren in geeigneter Weise kombiniert, da jedes Verfahren individuelle Stärken und Schwächen aufweist. Zu den Weltraumverfahren zählen die Globalen Navigationssatellitensysteme (Global Navigation Satellite Systems – GNSS), einschließlich des vielen bekannten amerikanischen Globalen Positionierungssystems (GPS), des russischen GLONASS-, des chinesischen Beidou- sowie des europäischen Galileo-Systems. Weitere wichtige geodätische Verfahren sind die Laserentfernungsmessungen zu Satelliten (Satellite Laser Ranging – SLR), die Radiointerferometrie auf sehr langen Basislinien (Very Long Baseline Interferometry – VLBI) sowie das französische Dopplermessverfahren (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite – DORIS).

Es tragen nicht alle dieser Verfahren gleichermaßen zum terrestrischen Referenzrahmen bei. Ein Referenzrahmen wird üblicherweise durch sieben definierende Parameter angegeben: drei Translationen des Ursprungs in X-, Y- und Z-Koordinatenrichtung, drei Rotationen um die X-, Y- und Z-Achse sowie ein Maßstabsfaktor für das globale Stationsnetz. VLBI realisiert zusammen mit SLR den Netzmaßstab. VLBI hat eine sehr lange Beobachtungshistorie zurück bis ins Jahr 1979 und ist weiterhin durch ein stabiles Raumsegment charakterisiert, das durch jeweils zwei raumfeste Himmelskoordinaten von extragalaktischen Radioquellen, meist Quasaren, gegeben ist. Das Grundprinzip des Messverfahrens ist in [Abb. 1](#) (links) dargestellt. Das

ermöglicht eine sehr stabile Realisierung des Netzmaßstabes bei der Bestimmung des Referenzrahmens.

Allerdings ist VLBI nicht sensitiv für den Massenmittelpunkt der Erde. SLR ist durch das relativ einfache Messprinzip (siehe [Abb. 1](#), rechts) mit einer weniger komplexen Modellierung der Beobachtungen sehr gut zur Realisierung des Ursprungs des Referenzrahmens geeignet. Die beiden Verfahren SLR und VLBI haben jedoch ein weniger gut ausgebautes und ungleichmäßig verteiltes Stationsnetz als GNSS und DORIS, die wesentlich zur Verdichtung des Referenzrahmens beitragen. Die vier Techniken haben ebenfalls unterschiedliche Sensitivitäten bei der Bestimmung der Erdorientierungsparameter. Diese sind unerlässlich für die Transformation zwischen terrestrischem (erdfestem) und zälestischem (himmelsfestem) Referenzrahmen, was Voraussetzung für die Navigation auf der Erde und im Weltraum ist. VLBI ist die einzige Technik, die die Orientierung der Erde bezüglich des Nullmeridians (UT1-UTC) absolut bestimmen kann. Dagegen können die Koordinaten des terrestrischen Pols mit GNSS aufgrund des global besser verteilten Stationsnetzes genauer bestimmt werden. Es wird damit deutlich, dass eine konsistente Kombination zwingend erforderlich ist, um geodätische Schlüsselparameter, wie Referenzrahmen und Erdorientierungsparameter, bestmöglich bestimmen zu können.

Im Abstand weniger Jahre wird regelmäßig eine aktualisierte Version des offiziellen Referenzrahmens veröffentlicht. Die erste Realisierung, die aus einer Kombination verschiedener Verfahren bestimmt wurde, ist das BTS84 (Bureau International de l'Heure Terrestrial System aus dem Jahre 1984) (Petit und Luzum 2010). Spätere Referenzrahmen seit der Gründung des Internationalen Dienstes

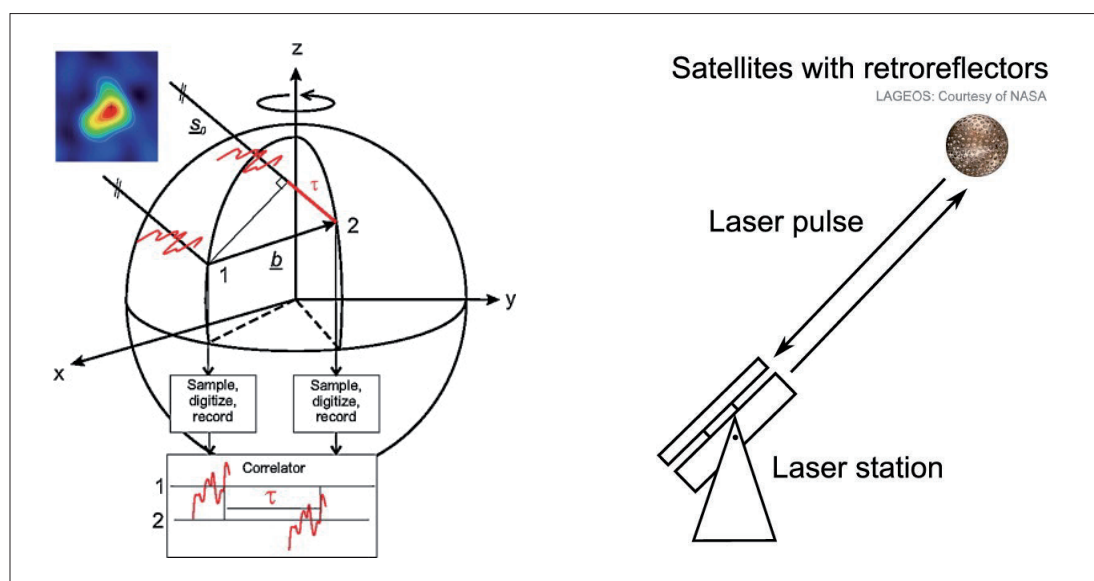


Abb. 1: Messprinzip der geodätischen Weltraumverfahren. Links: Radiointerferometrie auf sehr langen Basislinien (Very Long Baseline Interferometry – VLBI); rechts: Laserentfernungsmessungen zu Satelliten (Satellite Laser Ranging – SLR)

für Erdrotation und Referenzsysteme (IERS – International Earth Rotation and Reference Systems Service) tragen den Namen ITRF, angefangen von ITRF88 bis ITRF2014, mit insgesamt 13 Versionen bis heute. Während dieser Zeit ist die Erstellung der Referenzrahmen mit stetigen Verbesserungen einhergegangen. Der aktuelle Referenzrahmen ITRF2014 weist eine Genauigkeit von 3 mm und eine Stabilität von 0,2 mm/Jahr zur Referenzepoche 2010.0 für den Ursprung in Bezug auf die vorherige Realisierung ITRF2008 (Altamimi et al. 2011) auf. Im realisierten Maßstab gibt es eine Differenz zwischen den beiden Techniken SLR und VLBI von 1,37 ppb und 0,02 ppb/Jahr zur Epoche 2010.0, was auf der Erdoberfläche ungefähr 8,7 mm und 0,13 mm/Jahr entspricht. Hinsichtlich der geforderten Genauigkeit von 1 mm ist dies als kritisch zu erachten, und es bestehen intensive Bemühungen, diese Differenz zu reduzieren. Die Ursachen liegen zum einen in einer unzureichenden Modellierung der Einzeltechniklösungen und zum anderen in der Kombinationsstrategie. Es ist zu erwarten, dass in der nächsten Realisierung ITRF2020 die Differenz deutlich minimiert werden kann.

Die offizielle Realisierung, der ITRF, wird am Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) in Paris, Frankreich, als einem von weltweit drei Kombinationszentren des IERS gerechnet. Weitere Kombinationszentren mit den entsprechenden aktuellen Realisierungen DTRF2014 (Seitz et al. 2016) und JTRF2014 (Abbondanza et al. 2017) sind das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM) sowie das Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA, Pasadena, USA. Alle drei Realisierungen stimmen im Bereich weniger Millimeter überein; allerdings gibt es bezüglich des Netzmaßstabes Differenzen, hauptsächlich

zwischen ITRF2014 und DTRF2014 (Seitz et al. 2015; Abbondanza et al. 2017; Bloßfeld et al. 2018). Es ist Gegenstand aktueller Forschung, die signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Referenzrahmen zu verstehen.

Bevor eine neue Version eines Referenzrahmens berechnet wird, stellen die Technikzentren jedes geodätischen Verfahrens auf der Grundlage der Ergebnisse der einzelnen Analysezentren Einzeltechniklösungen bereit. Diese werden dann an den drei Kombinationszentren (IGN, DGFI-TUM, JPL) analysiert und letztendlich wird ein Referenzrahmen wie der ITRF2014, DTRF2014 und JTRF2014 als Kombination der Einzeltechniklösungen bestimmt. Die einzelnen Analysezentren sind internationalen wissenschaftlichen Diensten (Services) für eine optimale Koordination innerhalb des IERS zugeordnet. Zum Beispiel betreibt das Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ) im Department 1 »Geodäsie« in der Sektion 1.1 »Geodätische Weltraumverfahren« jeweils ein Analysezentrum des International GNSS Service (IGS) (Johnston et al. 2017) und des International VLBI Service (IVS, assoziiert) (Schuh und Behrend 2012; Nothnagel et al. 2015), in Sektion 1.2 »Globales Geomonitoring und Schwerfeld« jeweils ein Analysezentrum des International Laser Ranging Service (ILRS) (Pearlman et al. 2002) und des International DORIS Service (IDS, assoziiert) (Willis et al. 2010).

Vom IERS werden außerdem festgelegte Standards in sogenannten Conventions, wie den IERS Conventions 2010 (Petit und Luzum 2010) veröffentlicht, die einer konsistenten Auswertung der verfahrensspezifischen Beobachtungen in den verschiedenen Analysezentren aller Dienste weltweit dienen.

3 Referenzrahmen und Meeresspiegel

Obwohl die Definition und Realisierung von Referenzrahmen dem Bereich der geodätischen Grundlagenforschung zugeordnet werden kann, ist die Bereitstellung geeigneter Referenzrahmen von hoher gesellschaftlicher Relevanz und für ein tiefgreifendes Verständnis des Systems Erde von ausschlaggebender Bedeutung. Dies wird vor allem deutlich für eine genaue und zuverlässige Quantifizierung und Prognose des globalen Meeresspiegelanstiegs. Die Unsicherheiten im Referenzrahmen werden als eine Hauptfehlerquelle bei der Bestimmung des globalen Meeresspiegels angenommen (Blewitt et al. 2010; Beckley et al. 2017).

Zum Beispiel zeigen die Unterschiede zwischen zwei Referenzrahmen – dem IGSb00, angepasst an ITRF2000, und dem nur aus GNSS-Beobachtungen bestimmten IGS PPP – Unsicherheiten im Meeresspiegelanstieg im Bereich von –3 bis +3 mm/Jahr (Abb. 2). Der globale Meeresspiegelanstieg selbst wird dabei mit 3,1 mm/Jahr seit 1993 auf

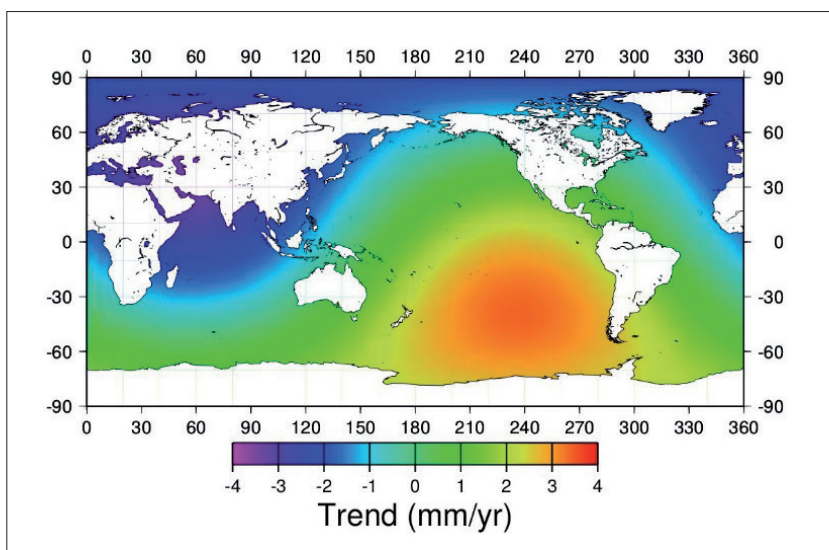


Abb. 2: Der Unterschied von zwei verschiedenen Referenzrahmen des IGS (IGSb00, angepasst an ITRF2000, vs. IGS PPP) führt zu Unsicherheiten in der Abschätzung des Meeresspiegelanstieges im Bereich von –3 bis +3 mm/Jahr

der Grundlage von Altimeterdaten angegeben (WCRP Global Sea Level Budget Group 2018). Eine Unsicherheit von einem Zentimeter im realisierten Ursprung des Referenzrahmens führt zu einer Unsicherheit von bis zu $-1,2$ mm im mittleren Meeresspiegel, abgeleitet aus Satellitenaltimetermessungen (Morel und Willis 2005).

Die Vereinten Nationen haben in einer ersten Resolution zur Geodäsie die Relevanz sehr genauer Referenzrahmen für das Monitoring des Systems Erde hervorgehoben, die im Februar 2015 unter dem Titel »A global geodetic reference frame for sustainable development« (A/RES/69/266, www.unggrf.org) verabschiedet wurde.

4 Simulationsstudien

Es besteht demnach ein großes Interesse in der geodätischen Gemeinschaft, die Genauigkeitslimitierenden Effekte in der Bestimmung von Referenzrahmen aufzudecken und zu minimieren. Zu erwartende Genauigkeitssteigerungen durch zukünftige Entwicklungen für die nächsten Referenzrahmen können mit Simulationen zuverlässig bewertet werden (Schuh et al. 2015). Dazu zählen zum Beispiel der Ausbau der Stationsnetze durch neue Beobachtungsstationen und eine Verbesserung der Genauigkeit und Verfügbarkeit geodätischer Beobachtungen. Innerhalb verschiedener Projekte am GFZ wurde eine Simulationsumgebung für die geodätischen Weltraumverfahren zur Bestimmung von Referenzrahmen im Hinblick auf die oben genannten Ziele von GGOS geschaffen. Die simulierten Stationsnetze sind in [Abb. 3](#) dargestellt. Dabei hat man sich an den realen Stationsnetzen des Referenzrahmens ITRF orientiert, allerdings wurde die Anzahl an Stationen begrenzt, um den Rechenaufwand zu minimieren. Diese bestehenden Stationsnetze wurden dann um zusätzliche geplante Stationen ergänzt und deren Einfluss mittels der Simulationen untersucht.

Die Simulationsstudien wurden mit VLBI-Beobachtungen aktueller Stationsnetze begonnen und es wurden verschiedene Modelle des Messrauschens angesetzt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die simulierten Beobachtungen, die auf den Genauigkeiten und Verfügbarkeiten realer Beobachtungen basieren, der offiziellen Realisierung ITRF am nächsten kommen, allerdings noch zu optimistisch sind (Glaser et al. 2016).

Zusätzliche VLBI-Stationen der nächsten Generation des VLBI-Systems VGOS (VLBI Global Observing System) führten zu deutlichen Genauigkeitssteigerungen, und es wurde gezeigt, welche Stationen bei der Erstellung des Referenzrahmens besonders wichtig sind. Bereits eine einzige zusätzliche Station in entlegenen Gebieten, wie zum Beispiel Tahiti, Französisch-Polynesien, verbessert die geschätzten Stationspositionen im globalen Mittel um bis zu 13 % (Glaser et al. 2017).

Die Erstellung von Referenzrahmen basiert auf

der Kombination der verschiedenen Verfahren. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Verfahren miteinander zu verbinden. Gewöhnlich erfolgt die Kombination am Boden an sogenannten Kolokationsstationen, wo Beobachtungen zu mindestens zwei verschiedenen Verfahren durchgeführt werden können. Differenzvektoren (local ties) zwischen den Markern der Empfänger der Verfahren werden mittels klassisch vermessungstechnischer Methoden bestimmt und in die Kombination als zusätzliche Beobachtungen eingeführt. Diese Differenzvektoren zeigen Unterschiede zu den Positionen, wie sie aus den Weltraumverfahren abgeleitet werden, von bis zu wenigen Zentimetern (Glaser et al. 2015b; Altamimi et al. 2016), was zu Unsicherheiten im Referenzrahmen führt. Verschiedene Simulationsszenarien mit den local ties, die somit die Rolle von Schlüsselparametern in der Kombination spielen, wurden ebenfalls umfangreich analysiert (Glaser et al. 2019a). Um einen Referenzrahmen zu erhalten, der die GGOS-Anforderungen erfüllt, müssen die local ties genauer als auf einen Zentimeter vorliegen. Die Simulation systematisch verfälschter local ties bestätigte, dass GPS für die Verbindung der Verfahren essenziell ist. Außerdem kann die kombinierte Lösung als robust gegen einzelne verfälschte local ties angenommen werden.

Die Kombination kann ebenfalls über Parameter erfolgen, die aus allen Weltraumverfahren gemeinsam bestimmt werden können. Dazu zählen zum Beispiel die Erdrotationsparameter, die dann als global ties (Seitz et al. 2012; Glaser et al. 2015a; 2017) bezeichnet werden, oder die Troposphärenparameter als atmospheric ties (Krügel et al. 2007; Balidakis et al. 2019; Heinkelmann et al. 2019).

SLR ist das einzige der vier Verfahren, das auf Wellen im optischen Bereich und nicht auf Mikro-

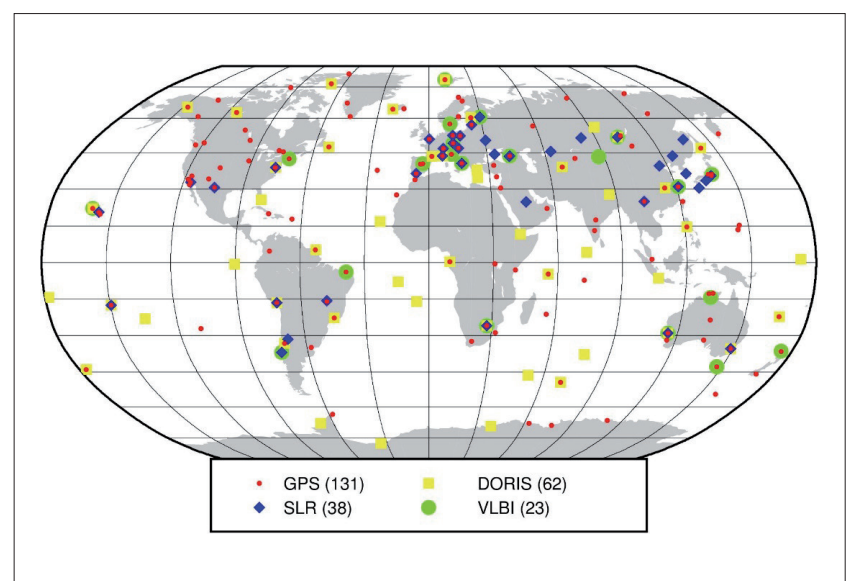


Abb. 3: Übersicht über die für die Simulationsstudien verwendeten Stationsnetze der einzelnen geodätischen Weltraumverfahren (GPS, SLR, DORIS, VLBI) mit Anzahl an Stationen

wellen basiert. Dies zieht eine Wetterabhängigkeit der SLR-Beobachtungen nach sich, da Sicht ohne Wolken zwischen Station und Satellit bestehen muss. Um realistische Simulationen für zukünftige SLR-Stationen durchführen zu können, sind erstmals Informationen zur lokalen Wolkenbedeckung aus dem numerischen Wettermodell ERA5 in die Simulationen eingeflossen. Die Erweiterung des SLR-Netzes um 14 zum Teil bereits geplante Stationen verbessert den Ursprung des Referenzrahmens um 22 % und den Netzmaßstab um 20 % (Glaser et al. 2019b).

Technische Weiterentwicklungen der Verfahren, wie sie zum Beispiel für eine nächste Generation des Galileo-Systems angedacht sind, und deren Einfluss auf geodätische Schlüsselparameter wurden ebenfalls simuliert. In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wird der Einfluss von Inter-Satelliten-Links und hochgenauen optischen Uhren einer vorgeschlagenen »Kepler«-Konstellation (www.kepler.global) untersucht (Günther 2018; Giorgi et al. 2019). In dieser Konstellation werden die 24 höher fliegenden Satelliten (Medium Earth Orbit – MEO) durch vier niedrig fliegende Satelliten (Low Earth Orbit – LEO) ergänzt, die zusammen mit den Inter-Satelliten-Links eine perfekte Synchronisation der Satellitenuhren erlauben. Die Kepler-Konstellation offenbart dabei ein vielversprechendes Potenzial für die Erstellung von Referenzrahmen, insbeson-

dere für die Realisierung des Ursprungs und des Netzmaßstabes. Es ergeben sich für den realisierten Ursprung Verbesserungen um Faktor 43 in Z-Richtung und Faktor 8 in X- und Y-Richtung in Bezug auf eine gewöhnliche Galileo-Konstellation (Glaser et al. 2020).

5 Zusammenfassung

Globale terrestrische geodätische Referenzrahmen stellen die Grundlage der Erdsystemebeobachtung dar, um Zielgrößen, wie den globalen Meeresspiegel bestimmen zu können. Bisher verfügbare Referenzrahmen erfüllen noch nicht die Genauigkeitsanforderungen, wie sie vom Globalen Geodätischen Beobachtungssystem (GGOS) festgelegt wurden, im Hinblick auf eine genaue und zuverlässige Abschätzung des globalen Meeresspiegels.

Simulationen von Referenzrahmen stellen dabei ein nützliches Hilfsmittel dar, um zum einen genauigkeitslimitierende Faktoren aufzudecken und zum anderen den Einfluss zukünftiger Entwicklungen auf den Referenzrahmen eindeutig bewerten zu können. Verschiedene nationale und internationale Gruppen arbeiten intensiv an der Verbesserung aktueller Referenzrahmen, wie zum Beispiel in der Arbeitsgruppe PLATO (Performance Simulations and Architectural Trade-offs) (Männel et al. 2018). Es ist zu erwarten, dass die nächste Realisierung, der ITRF2020, eine deutliche Genauigkeitssteigerung mit sich bringen wird. //



Literatur

- Abbondanza, Claudio; Toshio M. Chin et al. (2017): JTRF2014, the JPL Kalman filter and smoother realization of the International Terrestrial Reference System. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, DOI: 10.1002/2017JB014360
- Altamimi, Zuheir; Xavier Collilieux; Laurent Métivier (2011): ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-011-0444-4
- Altamimi, Zuheir; Paul Rebischung et al. (2016): ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth*, DOI: 10.1002/2016JB013098
- Balidakis, Kyriakos; Susanne Glaser et al. (2019): Combination of space geodetic techniques with atmospheric and local ties. A simulation study. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21, EGU2019-1509, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-1509.pdf>
- Beckley, Brian D.; Philip S. Callahan et al. (2017): On the »Cal-Mode« Correction to TOPEX Satellite Altimetry and Its Effect on the Global Mean Sea Level Time Series. *Journal of Geophysical Research – Oceans*, DOI: 10.1002/2017JC013090
- Blewitt, Geoff; Zuheir Altamimi et al. (2010): Geodetic Observations and Global Reference Frame Contributions to Understanding Sea Level Rise and Variability. Wiley-Blackwell, DOI: 10.1002/9781444323276.ch9
- Bloßfeld, Mathis; Detlef Angermann; Manuela Seitz (2018): DGFI-TUM Analysis and Scale Investigations of the Latest Terrestrial Reference Frame Realizations. *International Association of Geodesy Symposia*. Springer, Berlin, Heidelberg, DOI: 10.1007/1345_2018_47
- Giorgi, Gabriele; Tobias D. Schmidt et al. (2019): Advanced Technologies for Satellite Navigation and Geodesy. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2019.06.010
- Glaser, Susanne; Mathias Fritsche et al. (2015a): A consistent combination of GNSS and SLR with minimum constraints. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-015-0842-0
- Glaser, Susanne; Mathias Fritsche et al. (2015b): Validation of Components of Local Ties. *IAG Symposia REFAG2014*, DOI: 10.1007/1345_2015_190
- Glaser, Susanne; Dimitrios Ampatzidis et al. (2016): Simulation of VLBI observations to determine a global TRF for GGOS. *IAG Symposia IUGG2015*, DOI: 10.1007/1345_2016_256
- Glaser, Susanne; Rolf König et al. (2017): A Global Terrestrial Reference Frame from simulated VLBI and SLR data in view of GGOS. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-017-1021-2
- Glaser, Susanne; Rolf König et al. (2019a): On the impact of local ties on the datum realization of global terrestrial reference frames. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-018-1189-0

- Glaser, Susanne; Rolf König et al. (2019b): Future SLR station networks in the framework of simulated multi-technique terrestrial reference frames. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-019-01256-8
- Glaser, Susanne; Grzegorz Michalak et al. (2020): Origin and scale realization within a future GNSS constellation. *Journal of Geodesy* (in Begutachtung)
- Günther, Christoph (2018): Kepler – A Satellite Navigation System without Clocks and little Ground Infrastructure. Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018), Miami, FL, USA, DOI: 10.33012/2018.15997
- Heinkelmann, Robert; Jan Douša et al. (2019): IAG JWG Tropospheric Ties – Activities During the Last Term, IUGG19-3573, 27th IUGG General Assembly July 8-18, 2019, Montréal, Canada, www.czech-in.org/cmPortalV15/CM_W3_Searchable/iugg19/normal#!abstractdetails/0000760500
- IPCC (2019): The Ocean and the Cryosphere in a Changing Climate. https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf
- Johnston, Gary; Anna Riddell; Grant Hausler (2017): The International GNSS Service. In: Peter J.G. Teunissen; Oliver Montenbruck (Eds.): Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer, Cham, Schweiz, DOI: 10.1007/978-3-319-42928-1
- Krügel, Manuela; Daniela Thaller et al. (2007): Tropospheric parameters: combination studies based on homogeneous VLBI and GPS data. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-006-0127-8
- Männel, Benjamin; Daniela Thaller et al. (2018): Recent Activities of the GGOS Standing Committee on Performance Simulations and Architectural Trade-Offs (PLATO). In: Jeffrey T. Freymueller; Laura Sánchez (Eds.): International Symposium on Advancing Geodesy in a Changing World. Springer, Cham, Schweiz, DOI: 10.1007/1345_2018_30
- Morel, Laurent; Pascal Willis (2005): Terrestrial reference frame effects on global sea level rise determination from TOPEX/Poseidon altimetric data. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2005.05.113
- Nothnagel, Axel et al. (2015): The IVS data input to ITRF2014. International VLBI service for geodesy and astrometry, GFZ data services, DOI: 10.5880/GFZ.1.1.2015.002
- Oppenheimer, Michael; Bruce Glavovic et al. (2019): Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a changing Climate
- Pearlman, Michael R.; John J. Degnan; John M. Bosworth (2002): The International Laser Ranging Service. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/S0273-1177(02)00277-6
- Petit, Gérard; Brian Luzum (eds.). (2010): IERS Conventions (2010). Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main
- Plag, Hans-Peter (2006): National geodetic infrastructure: current status and future requirements – The example of Norway. Nevada Bureau of Mines and Geology, Bulletin 112
- Schuh, Harald; Dirk Behrend (2012): VLBI: A fascinating technique for geodesy and astrometry. *Journal of Geodynamics*, DOI: 10.1016/j.jog.2012.07.007
- Schuh, Harald; Rolf König et al. (2015): GGOS-SIM: simulation of the reference frame for the Global Geodetic Observing System. Springer, Cham, Schweiz, DOI: 10.1007/1345_2015_217
- Seitz, Manuela; Detlef Angermann et al. (2012): The 2008 DGFI realization of the ITRS: DTRF2008. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-012-0567-2
- Seitz, Manuela; Detlef Angermann et al. (2015): ITRS Combination Centres – Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI). In: Wolfgang R. Dick; Daniela Thaller (eds.): International Earth Rotation and Reference Systems Service, Central Bureau. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, www.iers.org/IERS/EN/Publications/AnnualReports/AnnualReport2015.html
- Seitz, Manuela; Mathis Bloßfeld et al. (2016): The new DGFI-TUM realization of the ITRS: DTRF2014 (data). Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, München, DOI: 10.1594/PANGAEA.864046
- Willis, Pascal; Hervé Fagard et al. (2010): The International DORIS Service (IDS): Toward maturity. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2009.11.018
- WCRP Global Sea Level Budget Group (2018): Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, DOI: 10.5194/essd-10-1551-2018

Hydrographische Nachrichten HN 115 – März 2020

Journal of Applied Hydrography

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen Gesellschaft – DHyG

Herausgeber:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.
c/o Innomar Technologie GmbH
Schutower Ringstraße 4
18069 Rostock

ISSN: 1866-9204

© 2020

Chefredakteur:

Lars Schiller
E-Mail: lars.schiller@dhyg.de

Redaktion:

Peter Dugge, Dipl.-Ing.
Horst Hecht, Dipl.-Met.
Holger Klindt, Dipl.-Phys.
Dr. Jens Schneider von Deimling
Stefan Steinmetz, Dipl.-Ing.
Dr. Patrick Westfeld

Hinweise für Autoren und Inserenten:

www.dhyg.de > Hydrographische Nachrichten > Mediadaten und Hinweise