

IAG Scientific Assembly 2025, Rimini, Italien, 1. bis 5. September 2025

Redaktion: Jürgen Müller

Mit Beiträgen von

Detlef Angermann | Mathis Bloßfeld | Henryk Dobslaw | Annette Eicker | Ahmed Elmaghraby |
Nina Fletling | Ehsan Forootan | Martin Horwath | Tobias Kersten | Klarissa Lachmann |
Roland Pail | Marvin Reich | José C. Rodríguez | Laura Sánchez | Anat Schaper | Michael Schmidt |
Martin Sehnal | Benedikt Soja | Daniela Thaller | Dimitris Tsoulis | Philipp Zingerle

Überblick

Die Scientific Assembly der International Association of Geodesy (IAG) 2025 wurde in Rimini, Italien, unter dem Motto »Geodesy for a changing environment« organisiert. Veranstaltungsort war das moderne Palacongressi. Das Konferenzzentrum bot sehr gute Räumlichkeiten, sodass man in angenehmer Atmosphäre bei den Vortragssessions, während der Poster-Sessions oder Kaffeepausen angeregt diskutieren konnte. Die Konferenz hatte sich zum Ziel gesetzt, kritische Themen der Geodäsie in den vier IAG-Kommissionen zu erforschen: Referenzrahmen, Schwerefeld, Rotation und Geodynamik sowie Positionierung und Anwendungen.

Die IAG Scientific Assembly wird turnusgemäß alle vier Jahre veranstaltet – zwischen den IUGG/IAG General Assemblies, die zuletzt 2023 in Berlin stattfand (zfv 1/2024, DOI: 10.12902/zfv-0458-2024). Die letzte IAG SA war 2021 in Wuhan, China, und konnte aufgrund von Corona zum Großteil nur online durchgeführt werden. Die jetzt in Präsenz durchgeführte Veranstaltung erlaubte wieder viel persönlichen Austausch und Networking, ein sehr großer Vorteil.

Insgesamt waren 675 Teilnehmer aus 49 Ländern registriert, wobei ca. 600 Personen tatsächlich vor Ort waren. Das war die größte Anzahl für eine Scientific Assembly, die die IAG allein, also ohne andere Partnerinstitution durchgeführt hat. Die größten Gruppen kamen aus China, Deutschland (112 Teilnehmer) und Italien.

Um auch jungen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen aus wirtschaftlich schwächeren Ländern die Teilnahme zu ermöglichen, konnte man sich für einen IAG Travel Grant bewerben. Insgesamt 13 derartige IAG Travel Grants konnten dieses Mal vergeben werden (mit Förderbeträgen zwischen 1000 und 1500 Euro). Darüber hinaus hatte das IAG Bureau entschieden, auch junge Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus wirtschaftlich starken Ländern zu unterstützen (u. a. aus Deutschland), da es



auch dort bisweilen an größeren finanziellen Mitteln für Doktoranden oder junge Postdocs mangelt, um die wissenschaftlichen Arbeiten bei einer derartigen Tagung zu präsentieren und selbst vor Ort teilzunehmen. Insgesamt 21 dieser speziellen Travel Grants von 500 Euro wurden für Rimini vergeben, wovon auch deutsche Teilnehmer profitieren konnten.

Das wissenschaftliche Organisationskomitee (SOC) wurde von der IAG-Generalsekretärin Daniela Thaller (BKG Frankfurt) geleitet. Insgesamt gab es

18 Symposien (darunter vier Highlight und drei Joint Symposia). Die Symposien waren wiederum in eine Reihe von Sessions aufgeteilt (s. a. <https://eventi.unibo.it/iag2025>). Sie waren anhand der IAG-Struktur mit ihren vier Kommissionen (Referenzsysteme, Schwerefeld, Erdrotation und Geodynamik, Positionierung und Anwendungen) gegliedert, ergänzt um Symposien zu GGOS, die Inter-Kommission-Komitees zu Theorie, Klimawandel, Meeresboden sowie das IAG-Projekt zur Nutzung der Quantentechnologien, aber auch eines zu »Geodäsie und Gesellschaft«. Die Joint Symposia widmeten sich dem Weltraumwetter, Geogefahren und der Nutzung von Künstlicher Intelligenz. Die Highlight-Symposia behandelten etwa künftige geodätische Satellitenmissionen, aber auch noch einmal klimarelevante Geodäsieforschung. Die Themen zielten generell auf die notwendige umfassende geodätische Erfassung und Modellierung des Systems Erde und seiner Komponenten.

Insgesamt wurden 695 Abstracts eingereicht, dabei stand Deutschland mit fast 130 eingereichten Beiträgen an zweiter Stelle, nur knapp hinter China. Die Beiträge wurden vom SOC aufgeteilt in Vorträge und Poster. Die Räumlichkeiten im Kongresszentrum von Rimini haben es ermöglicht, dass immer vier Vortragssessions parallel abgehalten werden konnten, sodass es letztlich möglich war, in der Summe 300 Beiträge als Vorträge unterzubringen. Die restlichen Beiträge wurden als Poster ins Programm



Kongresszentrum: Palacongressi di Rimini

genommen. Für die Poster-Sessions waren an vier Tagen (Montag bis Donnerstag) jeweils zum Abschluss des Tages 90 Minuten vorgesehen, sodass auch den Posterbeiträgen die entsprechende Aufmerksamkeit gegeben wurde.

Eine Neuerung im Programmablauf waren die Highlight-Symposia, die wichtige Themenfelder der Geodäsie auf einer sehr allgemeinen und übergeordneten Ebene behandelten. Diese Sessions fanden nicht parallel zu anderen Vorträgen statt und waren im großen Saal (»Anfiteatro«) direkt nach der Mittagspause angesiedelt, sodass alle Teilnehmer die Möglichkeit hatten, sich diese eingeladenen Vorträge anzuhören.

Der größte Themenblock widmete sich dem Schwerfeld (siehe Berichte zu den Symposien G02 und G03) sowie den Referenzsystemen (G01). Über fast alle Symposien sowie über die größten Business-Meetings wird im Folgenden berichtet. Ein Großteil der Beiträge, sofern rechtzeitig eingereicht, wird begutachtet und in den IAG Symposia Series (Springer Verlag) veröffentlicht.

Während der IAG-Eröffnungsveranstaltung wurden auch die *Young Author's Awards* für die beste Veröffentlichung eines Nachwuchswissenschaftlers oder einer -wissenschaftlerin im Journal of Geodesy verliehen. Für das Jahr 2023 ging der Preis an Dr. Safoora Zaminpardaz für den Beitrag *Detection-only versus detection and identification of model misspecifications* (<https://doi.org/10.1007/s00190-023-01740-2>). Für den Beitrag *Assessment of length-of-day and universal time predictions based on the results of the Second Earth Orientation Parameters Prediction Comparison Campaign* (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-024-01824-7>), veröffentlicht im Jahr 2024, wurde Dr. Justyna Śliwińska-Bronowicz ausgezeichnet. Weiterhin wurden Preise für die besten Reviews an Dr. Bailing Li (2023) und an Dr. Judit Benedek (2024) vergeben (s. a. <https://geodesy.science/2025/iag-awards-2023-2024/>).

Die Veranstaltung war durch das lokale Organisationskomitee, geleitet von Stefano Gandolfi und Susanna Zer-

bini von der Universität Bologna, und zentral unterstützt von der deutschen IAG-Generalsekretärin Daniela Thaller, BKG Frankfurt, hervorragend vorbereitet und durchgeführt worden. Ihnen gilt ein großer Dank.

Jürgen Müller, Hannover

IAG Executive Committee Meeting

Das IAG Executive Committee (EC) lenkt die Geschicke der IAG während der vierjährigen Amtszeit und setzt dabei die Vorgaben des IAG Councils um. Das IAG EC besteht aus den gewählten Verantwortlichen für die IAG-Komponenten, deren aktuelle Amtszeit mit der IUGG-Generalversammlung 2023 in Berlin begann und bis zur nächsten IUGG-Generalversammlung 2027 dauert. Für die laufende IAG-Periode 2023–2027 wurde Richard Gross vom JPL (NASA, USA) zum Präsidenten gewählt. Auch Deutschland ist mit einigen Personen im IAG EC vertreten:

- Daniela Thaller als IAG-Generalsekretärin (BKG, Frankfurt),
- Urs Hugentobler als Präsident der Commission 1 (TU München),
- Laura Sanchez als Präsidentin von GGOS (DGFI-TUM),
- Annette Eicker als Präsidentin des Inter-Commission Committees »Geodäsie für Klimaforschung«, ICCG (HafenCity University, Hamburg),
- Jürgen Müller als Vorsitzender des IAG-Projekts QuGe »Neuartige Sensoren und Quantentechnologie für die Geodäsie« (Leibniz Universität Hannover),
- Harald Schuh als früherer IAG-Präsident (TU Berlin),
- Hermann Drewes als früherer IAG-Generalsekretär (DGFI-TUM).

Das IAG EC tagt üblicherweise zwei Mal pro Jahr, meist verbunden mit einer Konferenz einer der IAG-Komponenten oder einer anderen geodätischen Tagung, z. B. EGU.

In Verbindung mit einer IAG Scientific Assembly ist immer eine Sitzung des IAG EC vorgesehen, in Rimini fand sie am Sonntag 31. August direkt vor Beginn der *Scientific Assembly* statt. Gleich zu Beginn der Sitzung durften wir den derzeitigen IUGG-Präsidenten Chris Rizos begrüßen, der in der IAG ein bestens bekannter Wissenschaftler ist. Er erläuterte die Pläne zur Überarbeitung des *Strategic Plan* der IUGG, mit dem Ziel, dass die IUGG ihre Verbindungen zu anderen Akteuren stärken kann. Es wurde im EC diskutiert, wie die IUGG allgemein und die IAG speziell mit Problemen beim Erhalt und der Ausweitung der Mitgliedschaften der einzelnen Staaten umgehen soll.

Vor gut einem Jahr konnte eine Vereinbarung mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) in Wien, Österreich, abgeschlossen werden, dass das dortige GGOS Coordination Office ausgeweitet wird und die Funktion eines permanenten IAG-Sekretariats übernehmen soll. Diese Änderung kann zwar erst mit der IUGG-Generalversammlung 2027 offiziell werden (nach Zustimmung des IAG Councils), aber Martin Sehnal vom BEV hat in den letzten Monaten bereits große Anstrengungen unternommen, dass mit Unterstützung der *Communication and Outreach Branch* (Szabolcs Rózsa) und dem IAG-Office (Daniela Thaller, Christina Dimopoulou) die IAG-Webseiten im neuen Design und mit verbessertem Inhalt online gehen konnten: <https://www.geodesy.science>. Diese Arbeiten und die neue Webseiten-Struktur präsentierte Martin Sehnal dem IAG EC. Darüber hinaus stellte er die »Geodesy Cartoon Competition« vor, die im Rahmen der IAG Scientific Assembly gestartet wurde. Nähere Details dazu siehe <https://geodesy.science/2025/geodesy-cartoon-competition>.

Im Hinblick auf die Zukunft der IAG erinnerte die IAG-Generalsekretärin Daniela Thaller alle EC-Mitglieder daran, bis zum nächsten EC-Meeting die Planungen für etwaige Neustrukturierungen von IAG-Komponenten anzugehen. Jürgen Müller präsentierte in diesem Zusammenhang bereits seine Überlegungen hinsichtlich der Weiterführung der Themenfelder Quantum-Technologie und Uhren in der Geodäsie. Der IAG-Präsident Richard Gross stellte seine Überlegungen vor, um insbesondere die IAG-Dienste nachhaltiger aufzustellen.

Ein großer Schwerpunkt des IAG EC für die ersten zwei Jahre der Amtsperiode war die Erarbeitung eines Konzepts zur Verbesserung der Diversität in der IAG. Dazu wurde 2023 eine Task Force unter der Leitung von Rebekka Steffen eingerichtet, die nun dem IAG EC den finalen Bericht mit Empfehlungen für konkrete Maßnahmen vorstellte. Es soll eine größere Diversität hinsichtlich »3-G«-Kriterien erreicht werden: *Gender, Geography, Generation*. Denn dass eine stärkere Diversifizierung notwendig ist, hat sich auch bei der IAG Scientific Assembly in Rimini gezeigt, da nur etwas mehr als ein Viertel der Teilnehmer weiblich waren (»Gender Balance«) und die Länder aus Lateinamerika, Afrika und Asien (mit Ausnahme China) vergleichsweise schwach vertreten waren (»Geographical Balance«). Auch die »Generational Balance« ist üblicherweise schwach, da

junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (sogenannte »Early Career Scientists«, ECS) meist über wenig Projektmittel verfügen, um an Konferenzen teilzunehmen.

Vor diesem Hintergrund hatte das IAG-Bureau auch entschieden, die oben bereits erwähnten speziellen Travel Grants für ECS zu gewähren, um mehreren ECS die Teilnahme in Rimini zu ermöglichen. Die Generalsekretärin Daniela Thaller präsentierte dem EC-Gremium die Gesamtzahlen hinsichtlich Travel Grants. Darüber hinaus präsentierte sie weitere organisatorische Themen, wie die Zusammenstellung der mid-term IAG Travaux, den Aufruf zu Bewerbungen für IUGG Grants für Meetings in 2026 und die Planungen für die nächsten IAG EC Meetings in 2026. Daniela Thaller, Richard Gross und IAG-Vizepräsident Peter Teunissen berichteten dem EC über das Vorbereitungstreffen zur IUGG-Generalversammlung 2027, das im Juli diesen Jahres in Incheon, Südkorea, stattfand.

Daniela Thaller, Frankfurt

IAG Council Meeting

Der IAG Council ist das gesetzgebende Organ der IAG und besteht aus Delegierten der IUGG-Mitgliedsländer, wobei nicht jedes Land, das Mitglied in der IUGG ist, auch einen Delegierten zur IAG entsendet. Derzeit hat der IAG Council 73 Mitglieder, und für Deutschland ist Jürgen Müller als stimmberechtigtes Mitglied vertreten.

Normalerweise tagt der IAG Council nur bei den IUGG-Generalversammlungen alle vier Jahre, nicht aber bei den Scientific Assemblies. Doch dieses Mal wollte das IAG Bureau (IAG-Präsident, IAG-Generalsekretärin und IAG-Vizepräsident) die Gelegenheit nutzen, um dem IAG Council einige Themen und Pläne für das weitere Vorgehen innerhalb der IAG zu präsentieren sowie Ideen und Anregungen von den Council-Mitgliedern zu bekommen.

Ein wichtiger Meilenstein innerhalb der IAG aus wissenschaftlicher Sicht ist die Definition der *Essential Geodetic Variables* (EGV). An dieser Thematik wird bereits seit einiger Zeit gearbeitet, doch in dieser IAG-Periode wurden sehr große Fortschritte erzielt, um endlich in die tatsächliche Etablierung der EGVs zu kommen. Der aktuelle Stand und die nächsten Schritte dazu wurden von der GGOS-Präsidentin Laura Sánchez vorgestellt.

Die beiden Themenfelder, die auch eine Strukturänderung in der IAG bedeuten und damit im Vorfeld der nächsten IUGG-Generalversammlung auch dem IAG Council zur Abstimmung vorgelegt werden müssen, standen ebenfalls auf der Tagesordnung, um die Mitglieder des Councils bereits jetzt darüber zu informieren. Eines dieser Themen ist die Einrichtung des permanenten IAG-Sekretariats am BEV, worüber Martin Sehnal berichtete (siehe ebenfalls Erläuterungen beim IAG EC Meeting). Das zweite Thema waren die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der Task Force zur Erhöhung der Diversität in der IAG. Dazu berichtete Rebekka Steffen (siehe auch Ausführungen im Abschnitt zum IAG EC Meeting). Insbesondere das zweite



Während der Eröffnungsfeier (von links): Die lokalen Organisatoren Stefano Gandolfi und Susanna Zerbini, die IAG-Generalsekretärin Daniela Thaller, IAG-Präsident Richard Gross sowie der IUGG-Präsident Chris Rizos bei seinem Grußwort

Thema stieß auf großes Interesse bei den Mitgliedern des IAG Council, sodass sich eine rege Diskussion ergab, mit vielen Ideen und Anregungen für das weitere Vorgehen.

Eine ähnlich ausführliche Diskussion fand zum Tagesordnungspunkt IUGG-/IAG-Mitgliedschaft statt. Hier könnten zum Beispiel die auf Arbeitsebene oftmals bestehenden Kontakte zu Nachbarländern seitens der IUGG-Mitgliedsländer gezielt genutzt werden, um insbesondere diejenigen Länder als Mitglied zu gewinnen, die bereits in der Geodäsie aktiv sind.

Zum Schluss des IAG Council Meetings gab Daniela Thaller einen Ausblick auf die beiden nächsten großen Assemblies der IAG:

- 2027 in Incheon (Südkorea) im Zusammenhang mit der IUGG-Generalversammlung: Die südkoreanischen Delegierten hatten dazu ein kurzes Video produziert, das dem IAG Council gezeigt werden konnte;
- 2029 ist die Scientific Assembly nicht als eigenständige IAG-Versammlung vorgesehen, sondern als *Joint Assembly* mit IAGA (*International Association for Geomagnetism and Aeronomy*). Der Aufruf zur Einsendung von Bewerbungen wurde nach der IAG Scientific Assembly in Rimini an die Council-Mitglieder verschickt.

Daniela Thaller, Frankfurt

Splinter Meetings und Social Events

Neben dem normalen Vortrags- und Posterprogramm der Scientific Assembly haben auch zahlreiche IAG-Komponenten (Commissions, Working Groups, Study Groups etc.) die Gelegenheit in Rimini genutzt, um jeweils ein Splinter Meeting abzuhalten.

Fest im Programm der IAG Scientific Assemblies geplant sind auch Social Events, um in lockerer Atmosphäre den Austausch untereinander zu fördern. Das IAG Dinner fand im legendären Grand Hotel in Rimini statt, und da glücklicherweise das Wetter mitspielte, konnte die herrliche Terrasse für das Dinner genutzt werden.

Zum ersten Mal auf einer IAG Scientific Assembly wurden zwei kleinere Veranstaltungen geplant, die ganz im

Zeichen der Verbesserung der Diversität stehen: ein Dinner für *Early Career Scientists* und ein Frühstück *Women in Geodesy*. Beide Veranstaltungen stießen auf großes Interesse und haben zum besseren Kennenlernen und Vernetzen beigetragen.

Daniela Thaller, Frankfurt

Symposium G01: Reference Frames

Das Symposium G01 beschäftigte sich mit den unterschiedlichen Aspekten von Referenzrahmen: *Space Techniques: Prerequisites for current and future terrestrial and lunar missions* (G01-1), *International Terrestrial Reference Frame: Challenges, future developments and applications* (G01-2), *Regional Reference Frames: Status, Challenges and Applications* (G01-3) und *The International Celestial Reference Frame for Geodetic Applications: Requirements, Challenges, and Future Prospects* (G01-4). Zusammengefasst sind 48 Poster- und 30 Präsentationsbeiträge im Symposium G01 vorgestellt worden.

In Session G01-1 wurden bemerkenswerte Entwicklungen und Fortschritte von lunaren Referenzrahmen präsentiert. Die Entwicklungen in diesem Bereich stellen einen bedeutenden Schritt für die geodätische Forschung dar und werden wesentliche Auswirkungen auf zukünftige Missionen zum Mond haben, indem sie die Präzision und Verlässlichkeit der lunaren Positionsbestimmung erheblich verbessern. Zusätzlich wurden in der Session Beiträge über eine nationale Forschungsinitiative im Bereich des zukünftigen ESA-Satelliten GENESIS und die Nutzung von SLR-Techniken in Verbindung mit Daten von LAGEOS und Sentinel-6A zur Verbesserung regionaler Referenzrahmen erörtert. Weitere Beiträge legten den Schwerpunkt auf innovative Ansätze zur Integration von Beobachtungstechniken und der Verbesserung geodätischer Modelle durch, u. a., die Auswirkungen der relativen Gewichtung in der gemeinsamen Parameterschätzung von kollozierten geodätischen Raumtechniken, das Potenzial neuartiger Beobachtungstypen in zukünftigen GNSS-Generationen, die

Einbindung von Satellitenbeobachtungen in VLBI sowie die Modellierung von durch Sonnendruck und Erdrotationsparameter induzierten Beschleunigungen auf LEO-Satelliten für präzise Bahnverfolgung.

Die Session G01-2 war auf drei Blöcke aufgeteilt und bot einen ausführlichen Überblick über aktuelle und zukünftige Entwicklungen im Bereich der internationalen (globalen) Referenzrahmen. Der erste Block fokussierte sich auf die neuesten Fortschritte und Herausforderungen im Zusammenhang mit dem International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Nach aktuellen Entwicklungen der ITRF2020-Aufdatierungen wurden in mehreren Beiträgen Vergleiche der Realisierungen ITRF2020, DTRF2020 und JTRF2020 diskutiert. Der abschließende Vortrag stellte die Bemühungen der ESA vor, eine Kombination weltraumgestützter Beobachtungstechniken auf Beobachtungsebene zu erreichen, was als richtungsweisender Ansatz zur Verknüpfung und Integration verschiedener geodätischer Technologien gesehen wird.

Der zweite Block der Session G01-2 legte einen Fokus auf geophysikalische Effekte und Modellierungen im Hinblick auf globale Referenzrahmenrealisierungen, wobei aktuelle Verbesserungen der Genauigkeiten geophysikalischer Modelle entscheidend für zukünftige Referenzrahmen sind. Neben geophysikalischen Effekten wurden auch Entwicklungen und Ergebnisse spezifischer internationaler Initiativen, wie z. B. der IGS (International GNSS Service) Ring Kalibrierungskampagne, vorgestellt, die den Übergang von individuellen zu kombinierten ANTEX-Produkten untersuchen. Schließlich wurde in einem Beitrag die Wichtigkeit akkurater terrestrischer Vermessungen von Bodenstationen vorgestellt, ohne die eine Kombination der geodätischen Weltraumtechniken nicht möglich ist.

Der dritte Block der Session G01-2 bezog sich schwerpunktmäßig auf Beiträge, die sich mit der Verfeinerung und Weiterentwicklung des ITRF und verwandter Systeme befassten. Mehrere Vorträge stellten Entwicklungen im Bereich der geodätischen VLBI vor, unter anderem die erreichten Verbesserungen in der VLBI-Kombination und das Potenzial der aktuellen K-Band VLBI für die Geodäsie im Jahr 2025. Weitere Vorträge beleuchteten die Einbindung von LARES-2 in die offiziellen Produkte des International Laser Ranging Service (ILRS), neue Strategien zur Reduzierung von Messfehlern in der Satellitenlaserentfernungsmessung und eine neue internationale Initiative zum Vergleich aktuell verfügbarer Geozentrumskoordinatenzeitreihen.

In der Session G01-3 wurden bedeutende Entwicklungen und Herausforderungen beim Aufbau und der Pflege lokaler Referenzrahmen vorgestellt und diskutiert. Ein bemerkenswerter Vortrag kam aus Saudi-Arabien, in dem ein Konzept für den Übergang von einem statischen zu einem kinematischen nationalen Bezugsrahmen (TSANSRS) vorgestellt wurde. Ein weiterer Vortrag beleuchtete den Übergang von globalen zu regionalen Referenzrahmen in einem globalen GNSS-Netzwerk, das in 27 Ländern mit über 5600 Stationen von Hexagon betrieben wird. Die Arbeits-

gruppe I-SIRGAS präsentierte ihre aktuelle Strategie zur GNSS-Verarbeitung und Analyse im SIRGAS-CON-Netzwerk, wobei sie auf die besonderen Herausforderungen der südamerikanischen Region hinsichtlich der Anzahl und Größenordnung von Erdbeben einging. Weitere Beiträge befassten sich mit der epochengerechten Realisierung eines regionalen Referenzrahmens für Indien, einem Überblick zu 15 Jahren operationeller GNSS-Erfahrung des Asia-Pacific Reference Frame (APREF)-Projekts und der Notwendigkeit der Modellierung atmosphärischer Gezeiten- und nicht-gezeitenbedingter Auslasteffekte in regionalen GNSS-Differentialnetzwerken. Diese vielseitigen Präsentationen in der Session unterstreichen die kontinuierlichen Bemühungen, lokale Referenzrahmen zu optimieren und die geodätische Präzision in regionalen Netzwerken weltweit zu verbessern.

In der Session G01-4 wurden Beiträge zum Thema Himmelsreferenzrahmen präsentiert. Besonders hervorzuheben ist hier eine Studie über die Aufdeckung eines systematischen Parallaxeneffekts in VLBI-Beobachtungen. Die Berücksichtigung der sogenannten »versteckten systematischen Antennenparallaxe« könnte wesentliche Verbesserungen für die Realisierung des ICRF4 (zukünftige neue Realisierung des Himmelsreferenzrahmens) ermöglichen. Weitere Beiträge konzentrierten sich auf die Integration und Verbesserung geodätischer und geodynamischer Modelle mit besonderem Fokus auf Polarregionen und globale Veränderungen. Wichtige Themen sind hier die Entwicklung und Nutzung von Datenarchiven und Referenzrahmen, dargestellt durch das *Fundamental Reference Image Data Archive* (FRIDA) und eine VGOS-konsistente CRF-Entwicklung. Weiterhin wurden Fortschritte und Herausforderungen bei der Quantifizierung der gegenwärtigen glazial-isostatischen Anpassung in der Antarktis durch die Kombination geodätischer Satellitendaten und das Budget der vertikalen Landbewegung und dessen Auswirkungen auf den globalen Meeresspiegel entlang der Küstenlinien besprochen.

Die Posterbeiträge legten den Schwerpunkt auf innovative Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit und Qualität geodätischer Messungen sowie auf die Entwicklung fortschrittlicher Analyse- und Kalibrierungstechniken. Sie befassten sich mit der Minderung von Multipath-Effekten durch hemisphärische Kartierung, mit speziellen Strategien für die Bahnbestimmung von DORIS während geomagnetischer Stürme und der Analyse von DORIS-Zeitreihen. Weitere Beiträge stellten die Modellierung von SLR-Reichweitenabweichungen, die Auswirkungen der Bezugsrahmenanpassung auf 3D-Stationbewegungen, die Nutzung von GRACE-Daten zur Modellierung tidenbezogener Deformationen, die Untersuchung der Auswirkungen der Satellitenbahneigenschaften auf geodätische Parameter und die gemeinsam ausgeführten Kalibrierungsanstrengungen von GNSS-Antennen, einschließlich der Bewertung von Positionsabweichungen abhängig von der geographischen Lage, vor.

Tobias Kersten, Hannover,
und Mathis Bloßfeld, München

Symposium G02: Static Gravity Field – Science Inference

Im Symposium G2, das in drei Sessions unterteilt war, wurde in insgesamt etwa 30 Vorträgen und 45 Postern ein breites Spektrum an Forschungsergebnissen präsentiert.

Die Session »Schwerefeld und Referenzsysteme in der Physikalischen Geodäsie« bot einen Höhepunkt mit der Präsentation der ersten Realisierung des International Height Reference Systems (IHRS), die als Grundlage physikalischer Höhenbestimmungen punktweise Potentialdifferenzen bereitstellt. Zahlreiche Beiträge berichteten über Entwicklungen zu regionalen oder nationalen Geoidmodellen auf dem Weg zu Genauigkeiten von 1 cm (absolut) bis 1 mm (relativ) und zu nationalen Verdichtungen des IHRS. Ebenso wurde über einen Durchbruch bei der Bestimmung von Potentialdifferenzen durch Atomuhren berichtet oder über den Vergleich von Absolutgravimeter-Messungen als Voraussetzung für die Realisierung des International Terrestrial Gravity Reference Frame (ITGRF).

Berichte methodischer Weiterentwicklungen betrafen sowohl klassische Themen wie die Terrain-Korrektur als auch die Anwendung von maschinellem Lernen in der Geoidmodellierung oder die Behandlung der Atmosphäre in einem künftigen Geodätischen Referenzsystem.

In der Session »Hydrologische und Kryosphären-Anwendungen der Gravimetrie und Satellitenaltimetrie« bildeten Untersuchungen zu Anwendungen der Satellitengravimetrie-Missionen GRACE und GRACE-FO einen Schwerpunkt. Methodische Weiterentwicklungen betrafen dabei die Berücksichtigung der tatsächlichen Erdoberflächen-geometrie bei GRACE-Rückschlüssen auf Massen-

änderungen oder verschiedene Ansätze des »Downscaling« von GRACE/GRACE-FO-Ergebnissen, insbesondere durch maschinelles Lernen. Zur Auflösung von Unsicherheiten und Widersprüchen zwischen verschiedenen Massenbilanzansätzen für den Antarktischen Eisschild markieren flugzeuggestützte Eisdickenmessungen entlang von Ausflussgletschern einen Meilenstein. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf Vorbereitungen der wissenschaftlichen Nutzung der zukünftigen Konstellation von Schwerfeldmissionen MAGIC (*Mass-change And Geosciences International Constellation*).

Die Session »Ozeanographie und Wissenschaft der festen Erde aus Gravimetrie und Satellitenaltimetrie« ging thematisch weit über schwerfeldbezogene Themen hinaus, indem sie auch Satellitenaltimetrie-Anwendungen ein Forum bot. Beide Felder finden zusammen, wenn aus der Vermessung der Feinstrukturen der Meeresoberflächen-geometrie das marine Schwerfeld bestimmt wird. Eine Reihe von Beiträgen zeigten eindrucksvoll, welchen neuen Schub dieses Anwendungsgebiet durch die neuartige Altimetrie-Mission SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*) und neue Ansätze des maschinellen Lernens erfährt. Weitere Beiträge berichteten über die Bestimmung der Ozeanbodentopographie – sei es aus dem altimetrisch bestimmten Schwerfeld oder aus z. B. Lidar-Messungen – und über ozeanographische Anwendungen der Altimetrie, wie die Detektion von ozeanischen Wirbeln. Weitere Beiträge behandelten die Modernisierungen eines für Land und Ozean einheitlichen nationalen vertikalen Referenzsystems oder die Aussagekraft des radial integrierten Schwerepotentials als ein weiteres Schwerfeldfunktional.

Martin Horwath, Dresden



Bild: © Susanna Zerbini

Kongressteilnehmer

Symposium G03: Gravity field – Technology and Techniques

Der Themenbereich »Space Gravimetry« umfasste die Sessions G031 (Technologien), G033 (raumgestützte Gravimetrie) und G034 (Analyse, Algorithmen, Modelle) und vereinte Beiträge zu instrumenteller Innovation, Missionsarchitektur und Datenverarbeitung. Die terrestrische Gravimetrie wurde in der Session G03-2 adressiert.

Session G03-1 *Next Generation Technologies* betonte technologische Fortschritte für zukünftige satellitenbasierte Schwerefeldbestimmung. Der Fokus lag, u. a., auf Quantensensoren, Laser-Ranging-Interferometrie (LRI) sowie optischen Uhren:

- Für Quantensensoren stellen vor allem Beschleunigungsmesser auf Basis von Cold-Atom-Interferometern (CAI) eine vielversprechende Alternative zum gängigen elektrostatischen Konzept dar, da CAI-Akzelerometer eine sehr hohe Langzeitstabilität aufweisen. So könnten sowohl zukünftige GRACE-artige SST-Missionen als auch GOCE-artige Gradiometriemissionen von solchen Geräten profitieren. Allerdings müssen CAI-Akzelerometer in den kommenden Jahren erst noch die nötige technologische Reife entwickeln, um in der räumlich und energetisch begrenzten Umgebung eines Satelliten eingesetzt werden zu können.
- Damit zukünftig LRI-Instrumente noch genauer werden und von kommenden Missionen adaptiert werden können, ist die Entwicklung einer sogenannten »Scale-Factor-Unit« erforderlich, welche die langwellige Frequenzstabilisierung übernimmt. Die Entwicklung einer solchen macht gute Fortschritte. Auch von hohem Interesse für zukünftige Anwendungen ist die Miniaturisierung des LRI-Sensors. Hierzu wurde ein Prototyp präsentiert, der auf Kleinstsatelliten (»Cube-Sats«) installiert werden kann und deutlich kostengünstiger ist bei vergleichsweise hoher Genauigkeit.
- Es wurden auch Untersuchungen zu möglichen relativistischen Messmethoden mittels optischer Uhren gezeigt. Neben der nötigen Präzision der Uhren selbst und der Zeitübertragung wurde auch die Sensitivität bzgl. der Satellitengeschwindigkeit hervorgehoben und die dafür notwendigen Prozessierungsstrategien.

Die Session G03-3 *Spaceborne Gravimetry* fokussierte auf das wissenschaftliche Potenzial künftiger Missionskonzepte, ohne auf spezielle Instrumente einzugehen:

- Ein Schwerpunkt lag auf der kommenden ESA-NASA MAGIC Mission, die aktuell intensiv in Planung ist. Zusammen mit dem kommenden NASA GRACE-C Paar wird das inklinierte ESA NGGM Paar zu einer signifikanten Verbesserung der globalen zeitvariablen Schwerefeldbestimmung in den frühen 2030er Jahren beitragen.
- Weiters wurden Untersuchungen zur längerfristigen Perspektive (nach MAGIC) in der globalen zeitvariablen Schwerefeldbestimmung präsentiert. Es wurde identi-

ziert, dass der Fokus zukünftig auf die Reduktion des sogenannten zeitlichen Aliasingfehlers gelegt werden muss, der primär durch die zeitliche Unterabtastung verursacht wird. Neben besseren Instrumenten sind daher zukünftig vor allem größere Konstellationen und angepasste Prozessierungsstrategien von hoher Relevanz.

- Als Alternative zu dedizierten Schwerefeldmissionen wurde auch untersucht, wie herkömmliche LEO-Satelliten mit Hilfe von GNSS-Receiver mittels reduziert-dynamischer Bahnbestimmung zu Schwerefeldlösungen beitragen können. Vor allem durch die hohe Redundanz in großen Konstellationen können die langen Wellenlängen des Erdschwerefeldes dadurch mit beachtlicher Genauigkeit bestimmt werden.

Die Session G03-4 *Analysis, Algorithms, and Models* umfasste neue Entwicklungen bzgl. der Analyse von (zeitvariablen) Schwerefelddaten. Dabei hervorzuheben sind folgende Themenbereiche:

- Die Mascon-Lösungen als Alternative zur gängigen sphärisch-harmonischen Darstellung werden zunehmend beliebt, da sehr wenig Fachwissen zur Anwendung notwendig ist und räumliche Regularisierungen in der Modellierung einfach zu realisieren sind. Dies hat vor allem Vorteile für fachfremde Nutzer wie Hydrologen und andere Geowissenschaftler.
- Auch die Analyse von direkten GRACE-FO (along-track)-Beobachtungen bzw. -Residuen gewinnt an Bedeutung, da damit der Einfluss des zeitlichen Aliasingfehlers (lokal) umgangen bzw. abgeschwächt werden kann. So können damit auch kleinere lokale Ereignisse identifiziert werden, die normalerweise in einer gängigen Monatslösung im globalen Rauschen untergehen.
- Zudem schreitet auch die Verbesserung von Hintergrundmodellen zum De-Aliasing der Schwerefeldbeobachtungen stetig voran (zur Reduktion des zeitlichen Aliasingfehlers). So wurden Verbesserungsmöglichkeiten in der Atmosphärenmodellierung aufgezeigt und ein neues »Earth-System-Model« (ESM 3.0) präsentiert, das realistischere Simulationen des Erdschwerefeldes ermöglicht.

The session G03-2 *Terrestrial Gravimetry* had in total 24 contributions (11 Orals, 13 Posters). The first block of oral presentations was focused mainly on absolute gravimeters but with quite a variety in the scope of contributions: Results from the last Nordic gravimeter comparison in Finnland (NKG CAG 2022), traceability of the gravity reference function at a Czech station (Pecny), updates from the »South-to-North Water Division Project in China (using superconducting gravimeters jointly with absolute gravimeters), a perspective from instrumental development and the status of quantum gravimeters for field measurements, experiences and first results using an absolute quantum gravimeter in different environments and stations and a more theoretical contribution about a new tidal analysis method (RATA).



Bild: © Jürgen Müller

Römische Kultur: Augustusbogen

The second block consisted of a mixture of applications and topics around relative gravimetry: monitoring hydrological signals with a CG-6 gradient approach, theoretical modelling versus measurements and larger data-based approaches for all vertical gravity gradient stations in Serbia, issues and solutions for calibrating CG-6 gravimeters for helicopter surveys to measure in remote areas of the Alps as well as examples and advancements of airborne gravimetry and instruments using aircrafts and drones.

The poster session had most contributions on national gravity reference networks but also long time series from both superconducting gravimeters and/or absolute ones were addressed at several stands. It was reported on quantum gravimetry advancing geophysical applications and on updates of well-known, larger data-infrastructures: ATMACS and AGrav.

Generally speaking, there was a rich mixture of traditional topics (comparisons, national reference networks) paired with further developed or new approaches (tidal analysis, vertical gradients, data products highly relevant to the community). The new instrument technology of absolute quantum gravimeters was clearly present in many contributions with several perspectives and applications. This shows and emphasizes on the interest within this community to test and use this new technology. The overall application and usefulness of terrestrial gravimetry for societal challenges came a little short in the presented topics.

*Marvin Reich, Potsdam,
und Philipp Zingerle, München*

Symposium G04: Earth Rotation and Geodynamics

Das Symposium G04 bot ein Forum für aktuelle Erkenntnisse zur zeitvariablen Rotation und Deformation des Erdkörpers basierend auf modernen geodätischen Beobachtungsverfahren und ergänzenden Methoden aus benachbarten geowissenschaftlichen Disziplinen. Umfassend diskutiert wurden beispielsweise glazial-isostatische Ausgleichsprozesse im oberen Mantel nach dem Abschmelzen des Inlandeises seit dem letzten glazialen Maximum vor etwa 20.000 Jahren. Unter Nutzung der Koordinatenzeitreihen von GNSS-Permanentstationen sowie wiederholten gravimetrischen Messungen wurden noch heute andauernde Veränderungen in Erdoberflächengeometrie, Schwerfeld und Spannungsverteilung in der Erdkruste diskutiert. Neben den weiterhin vereisten Regionen Antarktis und Grönland wurden auch Signale in den europäischen Alpen sowie in Skandinavien und Patagonien thematisiert. Auch konnte ein kleiner Beitrag der Manteltransportprozesse zum relativen globalen Meeresspiegelanstieg nachgewiesen werden, der insbesondere auf vertikale Landhebungen und damit in Verbindung stehende Veränderungen in der Geometrie der Küstenlinien zurückzuführen ist.

Ein weiterer Schwerpunkt von G04 lag auf der Diskussion von elastischen Deformationen des Erdkörpers in Reaktion auf zeitvariable Auflasten an der Oberfläche, die auf verschiedenartige dynamische Prozesse in Atmosphäre, Ozean und terrestrischer Hydrosphäre zurückzuführen sind. Neben den periodischen Signalen ozeanischer Gezeiten wurden auch episodische Windstaueffekte in geodätischen Beobachtungen detektiert und mit entsprechenden numerischen Modellen erklärt. Die Modellierung dieser Signale ist unter anderem wichtig für die Nutzbarkeit gravimetrischer Verfahren zur Überwachung von Vulkanen (z.B. Campi Flegrei bei Neapel), wo Auflasteffekte vor der geodynamischen Interpretation der Messungen entfernt werden müssen. Weiterhin wurde in der Session auch ein neues Verfahren zur Bestimmung von Geozentrumsvariationen vorgeschlagen, das auf global verteilten Beobachtungen von Vertikaldeformationen beruht.

Die geodätischen Raumverfahren GNSS, SLR, VLBI und DORIS liefern seit vielen Dekaden auch präzise Daten zu zeitlichen Veränderungen der Orientierung des Erdkörpers im inertialen Raum. Zur Erklärung bestehender Differenzen zwischen Theorie und Beobachtungen der Variationen des himmelfesten Rotationspols (Celestial Pole Offsets) wurden in einem Beitrag in G04 kürzlich verfeinerte Modelle von saisonal modulierten atmosphärischen Gezeiten verwendet. Für die verbesserte Interpretation von interannuellen Variationen des erdfesten Rotationspols wurden neben zeitvariablen Schwerfeldmodellen aus GRACE sowie SLR-Beobachtungen auch neuere Daten von Ozeanzirkulationsmodellen herangezogen. Studien dieser Art tragen langfristig auch zu substantiellen Verbesserungen der Vorhersage von Erdorientierungsparametern bei, wie sie in einer kürzlich abgeschlossenen Vergleichskampagne

des Internationalen Erdrotations- und Referenzsysteme-Dienstes eindrucksvoll dokumentiert und im Rahmen des Symposiums abschließend präsentiert werden konnten.

Insgesamt wurden im Symposium G04 eine Vielfalt neuer Erkenntnisse über das dynamisch deformierbare System Erde präsentiert, die primär aus geodätischen Beobachtungen gewonnen wurden. Gleichzeitig unterstrichen viele Beiträge aber auch die Wichtigkeit der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Geodäsie und anderen Zweigen der Geowissenschaften, um die präzisen Messungen mit numerischen Modellen und anderen Informationen zu verknüpfen, wofür zunehmend auch Verfahren der Datenwissenschaften und des maschinellen Lernens eingesetzt werden.

Henryk Dobslaw, Potsdam

Symposium G05: Advances in GNSS, Positioning Technologies, and Engineering Geodesy

Das Symposium G05 spannte thematisch einen breiten Bogen von grundlegenden Entwicklungen im Bereich der GNSS-Technologien bis hin zu praxisnahen Anwendungen in der Ingenieurgeodäsie und Atmosphärenforschung. Insgesamt wurden 42 Beiträge über zweieinhalb Tage präsentiert.

Ein Schwerpunkt lag auf neuen Datenprodukten und Messverfahren für die Ingenieurgeodäsie. Vorgestellt wurden unter anderem aktuelle LiDAR-basierte Höhenmodelle und aerogravimetrische Daten, Ansätze zur Integration von InSAR-Zeitreihen in globale Referenzrahmen sowie verschiedene Methoden zum Deformationsmonitoring – von Massenmarkt-GNSS und Smartphone-Sensorik bis hin zu Low-Cost-Sensorarrays für Bauwerksüberwachung. Parallel dazu wurden zahlreiche Innovationen im Bereich der Positionierungstechnologien diskutiert. Ein zentrales Thema war die Nutzung von Low-Earth-Orbit-Satelliten zur Verbesserung von Genauigkeit und Konvergenzzeiten. Ergänzend zeigten verschiedene Beiträge, wie neue Algorithmen und Sensorkombinationen – etwa GNSS mit Inertial-, LiDAR- oder UWB-Systemen – robuste Navigation auch in komplexen urbanen Umgebungen ermöglichen können.

Die Bedeutung von Mehrfrequenz- und Multi-GNSS-Ansätzen wurde ebenfalls hervorgehoben. Dabei reichten die Themen von Subcarrier-Beobachtungen und neuen PPP-Diensten bis hin zu Methoden der Fehlerdetektion, Untersuchungen zur Resilienz gegenüber Störungen und Studien zu Smartphone-gestützter Positionierung. Abgerundet wurde die Session durch einen Blick auf GNSS-Anwendungen in der Atmosphärenforschung. Hier standen troposphärische Modellierung, Echtzeitmethoden zur Schätzung atmosphärischer Verzögerungen sowie die Nutzung GNSS-abgeleiteter Wasserdampfparameter für Wetter- und Extremereignisanalysen im Vordergrund.

Insgesamt verdeutlichte die Session die große Bandbreite aktueller Entwicklungen – von neuen Satellitentechnologien über Multi-Sensor-Integration bis hin zu innovativen

Anwendungen in der Ingenieurgeodäsie und Atmosphärenforschung. GNSS und ergänzende Technologien erweitern sich dabei zunehmend als Schlüsselwerkzeuge sowohl für die präzise Positionierung als auch für die Überwachung geophysikalischer und infrastruktureller Prozesse.

Anat Schaper und Ahmed Elmaghraby, Hannover

Symposium G06: Global Geodetic Observing System (GGOS)

Beim Symposium G06 wurden die wichtigsten Aspekte von GGOS diskutiert, insbesondere (1) der Beitrag der Geodäsie zur Erdbeobachtung, (2) die Standardisierung, Integration und Optimierung geodätischer Produkte sowie (3) die Verbesserung der geodätischen Infrastruktur auf globaler und regionaler Ebene. Es umfasste 60 Beiträge (26 Vorträge und 34 Poster), die auf vier Vortragsblöcke und eine Postersession verteilt waren. Alle Veranstaltungen waren mit durchschnittlich 100 bis 130 Teilnehmenden gut besucht.

Eine wichtige aktuelle Initiative von GGOS ist die Erstellung eines Katalogs der wesentlichen geodätischen Variablen (Essential Geodetic Variables, EGVs). Damit soll der Beitrag der Geodäsie zur Erdbeobachtung hervorgehoben werden. Dabei wird dieselbe Nomenklatur wie bei anderen globalen Beobachtungssystemen, beispielsweise dem *Global Climate Observing System* (GCOS) oder dem *Global Ocean Observing System* (GOOS), verwendet. Dadurch wird die Sichtbarkeit der Geodäsie gefördert und ihre Produkte können leichter in anderen Wissenschaften und von der Gesellschaft genutzt werden. Während des G06-Symposiums wurden Details zum Konzept, zur Klassifizierung und Definition sowie zu den Anforderungen der EGVs präsentiert. Darüber hinaus fasste ein Vertreter des GCOS die laufende Rationalisierung der wesentlichen Klimavariablen (Essential Climate Variables, ECVs) zusammen, um die langfristige Verfügbarkeit und Konsistenz von Größen zu gewährleisten, die die Überwachung des Klimasystems unterstützen. In einem weiteren Vortrag wurde erläutert, wie geodätische Parameter die Zuverlässigkeit wichtiger Signale des Klimawandels, wie beispielsweise Meeresspiegelanstieg, Eismassenverlust und Wasserkreislauf, erheblich beeinflussen können. Die Sitzung bot zudem einen aktuellen Überblick über die Fortschritte bei der Einrichtung eines Internationalen Altimetriedienstes (International Altimetry Service, IAS) unter der Schirmherrschaft der IAG. Dieser soll einen Beitrag zu GGOS, GCOS und GOOS leisten. Weitere Präsentationen gaben Einblicke in die operativen Aktivitäten verschiedener GGOS-Komponenten: das GGOS-Büro für Produkte und Standards, das GGOS-Büro für Netzwerke und Beobachtungen, das GGOS-Koordinierungsbüro sowie die GGOS-Schwerpunktbereiche Georisiken, geodätische Weltraumwetterforschung und Künstliche Intelligenz für die Geodäsie. All dies dient dazu, die strategischen Ziele von GGOS zu verwirklichen.

In der Session zum Thema Standards und Produkte drehten sich die wichtigsten Beiträge um die Entwicklung

einheitlicher Standards, die Verbesserung geophysikalischer Modelle, die Integration verschiedener Beobachtungstechniken und die Erstellung konsistenter geodätischer Produkte. Zu den wichtigsten Ergebnissen zählen Fortschritte bei den ISO-Standards (Geodätisches Register und Nummerierungsnormen der Beobachtungsstationen, DOMES), Aktualisierungen der IERS-Konventionen, Verbesserungen der IAU- und IERS-Standards in Bezug auf die Erdrotation sowie Fortschritte bei der Definition eines neuen Referenzellipsoids. Weitere Höhepunkte waren die neuesten Entwicklungen des ICGEM-Dienstes im Bereich der Produkte zum Schwerefeld und deren Anwendungen, Verbesserungen bei der Erzeugung konsistenter Potenzialwerte für das Internationale Höhen-Referenzsystem bzw. des Referenzrahmens (IHRs/IHRF) sowie Empfehlungen zu Datenformaten und Verfahren.

In zwei interessanten Vorträgen wurden zunächst die Herausforderungen beschrieben, die die bevorstehende ESA-Mission Genesis für die Datenanalyse durch die IAG-Dienste mit sich bringt, insbesondere hinsichtlich der präzisen und konsistenten Bestimmung der Satellitenbahn unter Verwendung der vier verschiedenen Weltraumtechniken (GNSS, SLR, VLBI, DORIS). Im zweiten Vortrag wurde die Entwicklung des japanischen Omni-SLR vorgestellt. Hierbei handelt es sich um ein kompaktes, kostengünstiges und vielseitiges Satelliten-Laser-Entfernungsmesssystem (SLR), das durch die Verbesserung der räumlichen Abdeckung und der zeitlichen Auflösung eine erhebliche Erweiterung des globalen geodätischen Referenzrahmens verspricht. Weitere Beiträge konzentrierten sich auf die globale geodätische Infrastruktur, wobei der Schwerpunkt auf den Arbeiten des GGOS-Komitees PLATO (Committee on Performance Simulations and Architectural Trade-Offs) lag. Dieses Komitee erstellt verschiedene Simulationsstudien, um die Verteilung der geodätischen Fundamentalstationen (wie Wettzell) weltweit zu optimieren und somit die Qualität und die langfristige Stabilität des terrestrischen Referenzrahmens zu verbessern. In weiteren Vorträgen wurden die neuesten Verbesserungen der verschiedenen IAG-Dienste, Aktualisierungen an zahlreichen geodätischen Fundamentalstationen, die Erweiterung der Boden-Netze für VLBI, SLR und DORIS sowie neue Entwicklungen zur Integration lokaler Verbindungen der verschiedenen Instrumente in die Bestimmung des terrestrischen Referenzrahmens zusammengefasst.

Als Ergänzung zu den weltweiten Bemühungen im Bereich der geodätischen Infrastruktur bot das G06-Symposium die Gelegenheit, sich über regionale Initiativen zur Förderung der GGOS-Aktivitäten zu informieren. Diese Initiativen bieten einen Rahmen für die regionale Zusammenarbeit bei geodätischen Themen und sind auf eine Verbesserung der Infrastruktur, der Forschung und der operativen Produkte gerichtet. Es wurden Präsentationen zu den etablierten GGOS-Partnerorganisationen GGOS Japan, GGOS D-A-CH (Deutschland, Österreich und Schweiz) sowie GGOS IberAtlantic (Spanien und Portugal) gehalten. Ein Höhepunkt war der Überblick über die Ziele und

Fortschritte bei der Einrichtung von GGOS-Afrika. Darüber hinaus umfasste die Sitzung Berichte über den Aufbau eines regionalen, millimetergenauen, nichtlinearen Epochenreferenzrahmens in China, die jüngsten Fortschritte in Australien, Indien, Südafrika und der SIRGAS-Region sowie die Verbesserung der Zugänglichkeit und Qualität von GNSS-Daten und -Produkten durch EPOS (European Plate Observing System).

Laura Sánchez, José C. Rodríguez und
Detlef Angermann, München

Symposium G07: ICCT Symposium – Advances in Geodetic Theory

Das Symposium G07 des Inter Commission Committee on Theory (ICCT) der IAG wurde in Rimini durch vier Oral-Sessions sowie insgesamt 23 Poster realisiert. In Session G07-1 *Gravitational field modelling and analysis for the Earth and for oblate and prolate planetary bodies and irregularly shaped celestial bodies* wurden neue Verfahren zur Modellierung und numerischen Berechnung des Schwerefelds willkürlicher Massenarrangements diskutiert. Die Theorie der sphärischen Integraltransformation in Bezug auf die Berechnung von entfernten Effekten und ein Ansatz für die Interpretation von Schwerefeldkoeffizienten durch die Beziehung zwischen Entwicklungsgrad und Tiefe der Störmassen waren weitere Themen, die in dieser Session behandelt wurden. Aufgaben, wie die rigorose Bestimmung des Geoids und der orthometrischen Höhen oder die Behandlung der Konzepte Genauigkeit und Präzision im Rahmen des Verfahrens für eine konsistente Geoidberechnung, waren Highlights der Session G07-2 *Geoid/quasigeoid modelling approaches in view of cm-precision/cm-accuracy*. Session G07-4 *High-precision GNSS theory and algorithms* fokussierte auf Algorithmen für die Bearbeitung von GNSS-Daten, wie die Zweideutigkeit von Integer-Zahlen in der GNS-Datenanalyse, die Erweiterung der Schätztheorie mittels Graphen-basierter Optimierung, die Prüfung von Methoden zur Echtzeit-genauen Positionierung, sowie auf das Problem der Zweideutigkeit in der Phasenbestimmung. Der Themenbereich Optimierung, Modellbildung und Design wurde in Session G07-5 *Geodetic quality/integrity modelling, monitoring and design* diskutiert. Unter den besprochenen Fragestellungen waren die Untersuchung von Methoden zur Sensitivitätsanalyse in Punktpositionierung, ein Prüfverfahren für Ausreißeridentifizierung, der Vorschlag einer vereinheitlichten Theorie zur Modelauswahl und die Vorstellung eines Finite-Elemente-Ansatzes für die zeitliche Modellierung von geodätischen Signalen. Neben den Oral-Sessions fand eine sehr interessante Poster-Session mit zahlreichen spannenden Beiträgen – besonders von jungen Wissenschaftlern – statt. Schade nur, dass die Organisatoren nicht erlaubten, Poster länger als einen Tag aufgestellt zu lassen, um weitere Diskussionen und Austausch zu ermöglichen.

Dimitris Tsoulis, Thessaloniki



Römische Kultur: Tiberiusbrücke, zugleich Ankerbild des Kongresses

Symposium G08: Geodesy for Climate Research

Das Symposium G08 präsentierte in 16 Vorträgen und 23 Postern die vielfältigen Möglichkeiten, geodätische Messmethoden für die Klimaforschung zu nutzen. Besonders deutlich wurde die große Spannweite der eingesetzten Verfahren sowie die beeindruckende Vielfalt an geophysikalischen Anwendungen. Im marinen Bereich reichte das Spektrum von der kombinierten Nutzung von Satellitengravimetrie und -altimetrie zur Analyse von Meeresspiegeländerungen und daraus abgeleiteten Ozeanwärmeinhalten bis hin zur Untersuchung langfristiger Schwankungen der globalen Umwälzzirkulation. Terrestrische Anwendungen der Satellitengravimetrie (GRACE und GRACE-FO) umfassten die Analyse einzelner Flusseinzugsgebiete, die Quantifizierung von Grundwasserveränderungen sowie die Bestimmung von Feuchtigkeitsveränderungen in tiefen Bodenschichten. Darüber hinaus wurde der zu erwartende Mehrwert zukünftiger Schwerfeldmissionen, wie der geplanten Doppelpaar-Konstellation MAGIC, für die Ableitung langfristiger Klimatrends oder für die verbesserte Detektion hydrologischer Extremereignisse (Dürren, Überflutungen) dargestellt.

Für GNSS-Beobachtungen zeigte sich ein breites Anwendungspotenzial: So lassen sich durch Massenänderungen verursachte, mit GNSS messbare Erdkrustenbewegungen zur Erfassung regionaler Wasserspeicherveränderungen nutzen. Besonders hervorzuheben ist die zunehmende Kombination von GNSS-Daten mit Satellitengravimetrie oder mit Radarinterferometrie (InSAR), um durch Ausnutzung der jeweiligen Stärken der einzelnen Messsysteme Veränderungen der Wassermassen präziser zu bestimmen. Zudem bieten Verzögerungen der GNSS-Signale in der Troposphäre, die ursprünglich als Fehlerquelle für die Positionierung galten, wertvolle Informationen über die Verteilung und langfristige Entwicklung des atmosphärischen

Wasserdampfs, was in mehreren Beiträgen thematisiert wurde. Auch GNSS-Reflektometrie, also Mehrwegeeffekte der Signale, eröffnet neue Einblicke in klimarelevante Größen wie Bodenfeuchte oder Veränderungen von Wassershöhen. Ein weiteres zentrales Thema war die wachsende Bedeutung der Datenassimilation: Das Verknüpfen geophysikalischer Modelle mit geodätischen Messungen, entweder durch klassische Assimilationsverfahren oder zunehmend auch mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz, gewinnt stark an Relevanz – ein Trend, der sich in Zukunft noch verstärken dürfte.

Annette Eicker, Hamburg

Symposium G10: Modern Concepts and Quantum Technology for Geodesy

Die Session G10, bestehend aus sechs Präsentationen und neun Postern, widmete sich aktuellen Entwicklungen und Zukunftskonzepten an der Schnittstelle von Quantentechnologie und Geodäsie. Im Mittelpunkt standen insbesondere optische Atomuhren, Verfahren zur hochpräzisen Zeit- und Frequenzübertragung sowie neue Ansätze für die gravimetrische Erdbeobachtung.

Ein Schwerpunkt lag auf dem chronometrischen Nivellement mit transportablen optischen Uhren und Glasfaserverbindungen, das inzwischen die Bestimmung von Höhenunterschieden im Zentimeterbereich potentiell ermöglicht. Fortschritte in der Stabilität und Genauigkeit der Frequenzübertragung erlauben zudem grundsätzlich die Messung zeitlich variabler Effekte wie Gezeiten oder atmosphärischer Einflüsse.

Neben der Vernetzung von Stationen mit terrestrischen Verfahren wurden auch satellitengestützte Techniken betrachtet. Optische Frequenzverbindungen könnten langfristig eine globale Vereinheitlichung von Höhensystemen realisieren. Simulationen diesbezüglich zeigen, dass derzeit

vor allem die Stabilität der Satellitenuhren die erreichbare Genauigkeit begrenzt, während relativistische und atmosphärische Effekte bereits gut modelliert werden können. Im Zusammenhang mit der in diesem Jahr gestarteten ACES-Mission wurde das optische Zeitübertragungsverfahren *European Laser Timing* (ELT) vorgestellt, das über Satellitenlaserstationen wie Wettzell realisiert wird. Erste Ergebnisse bestätigen, dass ELT eine Größenordnung präziser arbeitet als GNSS-basierte Methoden.

Darüber hinaus wurde aufgezeigt, wie Simulationen von Frequenzdifferenzen zwischen Uhren auf der Erde und auf dem Mond genutzt werden können, um Konzepte für ein unabhängiges lunar-basiertes Zeitsystem zu entwickeln. Zudem wurden Untersuchungen vorgestellt, wie Uhrendaten zur Bestimmung des absoluten Gravitationspotentials beitragen können. Dabei wurde insbesondere die Bedeutung von Netzgestaltung, Beobachtungsdichte und a-priori-Informationen für die erreichbare Genauigkeit hervorgehoben.

Die Entwicklung der Quanten-Gravimetrie wird unter anderem von der Europäischen Union vorangetrieben durch die Förderung verschiedener Initiativen. Das in diesem Jahr gestartete Infrastrukturprojekt EQUIP-G dient der Entwicklung und Vernetzung quantenbasierter Gravimeter. Es hat zum Ziel, ein europäisches Messnetzwerk zur hochpräzisen Erfassung von Änderungen des Schwerefelds aufzubauen, mit Instrumenten sowohl auf dem Boden als auch auf mobilen Plattformen an Bord von Schiffen und Flugzeugen. Diese Bestrebungen ergänzen das laufende

CARIOQA-Projekt, in dem eine Satellitenmission zur erstmaligen Demonstration eines Quantengravimeters im Weltraum vorbereitet wird. Simulationen zeigen, dass der Einsatz eines quantenbasierten Beschleunigungssensors an Bord von Schwerefeldmissionen eine Verbesserung zu den herkömmlichen Sensoren aufweist und daher vielversprechend für die zukünftige Beobachtung des zeitvariablen Schwerefelds ist.

Weitere aktuelle, ergänzende Themen in diesem Bereich behandelten, auch in der zugehörigen Postersession, relativistische Korrekturen für Satellitenmissionen, Einflüsse geophysikalischer Modelle auf die Stabilität optischer Uhren, transportable optische Gitteruhren sowie Konzepte zur höhenbezogenen Zeitübertragung und zur Nutzung von Uhren an Bord zukünftiger Schwerefeldmissionen. Ebenfalls wurden neue Entwicklungen im Bereich quantenbasierter Gravimeter und deren geophysikalische Anwendungen vorgestellt.

Nina Fletling und Klarissa Lachmann, Hannover

Symposium G11: Geodesy for Society: Data Management, Policy Networking and Public Engagement

Das Symposium G11 fand am letzten Tag der IAG Scientific Assembly statt. Ziel des Symposiums war es, die gesellschaftliche Relevanz der Geodäsie hervorzuheben, wobei drei zentrale Themenbereiche im Mittelpunkt standen: effektives Datenmanagement, die Schnittstelle zwischen Geodäsie und Politik sowie Kommunikation, Bildung und Öffentlichkeitsarbeit. In den drei Sessions wurden insgesamt neun Vorträge und elf Posterbeiträge präsentiert.

Die Session G11-1 *Data Management, Dissemination of Results, and Stakeholder Networking* behandelte die Bedeutung eines effektiven Managements geodätischer Daten. Im Fokus standen dabei die FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable), die Nutzung von Open-Source-Tools sowie die Integration mehrerer Datenquellen, um Forschung, operative Anwendungen und fundierte Entscheidungen zu unterstützen. In der Session G11-2 *Geodesy at the Intersection of Science and Policy* wurde die Rolle der Geodäsie in politischen Entscheidungsprozessen diskutiert. Es wurde gezeigt, wie eine stärkere Vernetzung mit Stakeholdern und gezielte Maßnahmen die Sichtbarkeit geodätischer Erkenntnisse in Entscheidungsprozessen erhöhen können. Darüber hinaus konzentrierte sich die Session G11-3 *Communication, Education and Outreach in Geodesy* auf Aktivitäten im Bereich Bildung sowie Öffentlichkeitsarbeit und stellte Methoden vor, Geodäsie sowohl dem Fachpublikum als auch der breiten Öffentlichkeit verständlich zu vermitteln.

Die wichtigsten Ergebnisse des Symposiums unterstrichen die zentrale Bedeutung offener und zugänglicher geodätischer Daten für reproduzierbare Forschung, operative Anwendungen und evidenzbasierte Entscheidungen in Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Hervorgehoben



Bild: © Jürgen Müller

Kongress-Dinner im renommierten Grand-Hotel

wurde zudem die entscheidende Rolle globaler Kooperationen und koordinierter Initiativen, um Transparenz und die Sichtbarkeit der Geodäsie innerhalb und außerhalb der Fachcommunity zu fördern. Öffentlichkeits- und Bildungsmaßnahmen auf regionaler und internationaler Ebene wurden als besonders wichtig für die Förderung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler identifiziert, gleichzeitig tragen sie dazu bei, die gesellschaftliche Relevanz der Geodäsie zu vermitteln. Bildungsaktivitäten wirken am effektivsten, wenn sie an konkrete, praxisnahe Nutzung gekoppelt sind, wie Umweltbeobachtung, Katastrophenvorsorge oder alltägliche geodätische Anwendungen. Insgesamt hat das G11-Symposium wissenschaftlichen Austausch mit strategischen Diskussionen zu Politik, Bildung und Öffentlichkeitsarbeit verbunden. Durch diese Kombination wurde die Rolle der Geodäsie nicht nur als exakte wissenschaftliche Disziplin, sondern auch als praktischer Beitrag zum gesellschaftlichen Nutzen, zur nachhaltigen Entwicklung und zu fundierten Entscheidungen in verschiedenen Sektoren eindrucksvoll hervorgehoben.

Martin Sehnal, Wien

Symposium H01: Future Geodetic Satellite Missions and new Technologies

Several geodetically relevant missions will be launched in the upcoming years, which will have a major impact on the GGOS infrastructure and form the basis for a number of Geodetic Essential Variables (EGVs). Roland Pail, TU Munich, presented the status of the double pair constellation MAGIC (Mass-change and Geosciences International Constellation) for monitoring mass change processes in the Earth system, which will be established as a joint initiative of NASA/DLR and ESA. It will be composed of the polar pair GRACE-C, which will be launched in 2028 to continue the time series of GRACE/GRACE-FO. In 2032, it will be complemented by NGGM in an inclined orbit of about 70°, which will enable improved spatial and temporal resolution and improved accuracy. Short product latencies shall serve (pre-)operational applications in the frame of Copernicus, such as droughts, floods, water management. Gaia Fusco presented the status of the future geodetic ESA satellite mission GENESIS, which shall be launched in 2028. It will enable, for the very first, time the collocation of the four space-geodetic techniques GNSS, VLBI, SLR and DORIS in space, acting as a space tie. Thus, it will contribute improving the ITRF stability and the connection between ITRF and ICRF (EOPs) by identifying and reducing systematic uncertainties among the techniques. GENESIS will orbit in a low MEO altitude of 6000 km and with target inclination of 95.5°. Hanane Ait-Lakbir gave insights into current numerical simulation results to demonstrate the added value of GENESIS. Yuse Yokota reported on the development of the multi-purpose SLR system »Omni-SLR« with significantly reduced size and cost, aiming to improve

the global coverage of SLR stations. It was installed and assessed at the Ishioka Geodetic Observing Station, Japan, and achieves the expected performance.

Roland Pail, München

Symposium H04: Highlight Session on Geodesy for Climate and Water

Im Highlight-Symposium H04 gab es drei eingeladene Keynote-Vorträge. Anny Cazenave (Toulouse) stellte die Erkenntnisse aus über drei Jahrzehnten der Beobachtung des Meeresspiegels mit Satellitenaltimetrie vor. Sie konnte zeigen, dass eine momentan herrschende Diskrepanz in der Meeresspiegelbilanz (also der angenommenen Äquivalenz von geometrischer Meeresspiegeländerung mit der Summe aus Massenänderungen und durch Wassererwärmung hervorgerufenen Variationen) sehr wahrscheinlich auf bisher nicht erfasste Wärmeaufnahme in der Tiefsee zurückzuführen ist. Im zweiten Vortrag präsentierte Yohannes Getachew Ejigu (Aalto) GNSS als wichtiges Werkzeug für das Atmosphärenmonitoring und zeigte am Beispiel des Hurrikans Harvey (2017), wie dieses geodätische Beobachtungsverfahren zur verbesserten Vorhersage tropischer Wirbelstürme beitragen kann. Andreas Güntner (Potsdam) erläuterte im dritten Vortrag die Bedeutung der sogenannten Essentiellen Klimavariablen (ECVs). Er stellte dabei die Bedeutung geodätischer Beobachtungen, insbesondere der Gravimetrie, für die Quantifizierung der neu eingeführten ECV »Terrestrischer Wasserspeicher« und, mit Hilfe weiterer Datensätze im Sinne einer Signalseparation, für die Bestimmung der ECV »Grundwasser« heraus.

Annette Eicker, Hamburg

Symposium J01: Geodetic Space Weather Research

Das Symposium J01 fand am 3. September 2025 statt und bestand aus zwei Vortragssessions und einer Poster-Session. Es gab insgesamt 14 Vorträge, die durch 15 Posterbeiträge ergänzt wurden. Allgemein verdeutlichten die Beiträge, welche wichtige Rolle sowohl die geodätischen Beobachtungen als auch die geodätischen Auswerteverfahren und -strategien spielen, um ein besseres Verständnis von Weltraumwetterphänomenen zu erhalten.

Zahlreiche Beiträge der Vortragssessions befassten sich mit methodischen Innovationen in der Ionosphären- und Thermosphärenmodellierung. Vorgestellt wurde eine datengestützte Anwendung der *Multichannel Singular Spectrum Analysis* (SSA) auf *Global Ionosphere Maps* (GIM), die es ermöglicht, geomagnetische Stürme durch die Extraktion nichtperiodischer Modi zu erkennen, ohne sich auf analytische Annahmen zu stützen. In einem weiteren Beitrag wurde ein erweitertes empirisches Modell zur Bestimmung der thermosphärischen Dichte vorgestellt,

das auf einer zweistufigen Methode basiert, bei der Kugelflächenfunktionen und maschinelles Lernen kombiniert werden. Durch die Integration von Weltraumwetterindizes verbessert das Modell die Kalibrierungsgenauigkeit und unterstützt damit die Vorhersage von Satellitenbahnen und die Verfolgung von Weltraumschrott. In einem anderen Vortrag wurde eine sequentielle Kalibrierungs- und Datenassimilationsstrategie für die Vorhersage des Zustandes der höheren Erdatmosphäre (Ionosphäre, Thermosphäre, Plasmasphäre) präsentiert. Der gezeigte Ansatz gleicht empirische Modelle effizient mit geodätischen Satellitendaten ab und liefert z. B. eine Schätzung des Ionosphärenzustands in Echtzeit für geodätische Anwendungen. Das Verfahren zeichnet sich zudem durch deutlich kürzere Rechenzeiten aus als das »Tunen« physikalischer Modelle.

Zwei Beiträge befassten sich mit dem geomagnetischen Sturm vom Mai 2024. In einem der beiden wurden Azimutverschiebungen von über 20 Metern in ALOS-2/PALSAR-2-Bildern identifiziert, die mit GNSS-TEC-Werten in Verbindung standen und großräumige Störungsmuster in der Ionosphäre aufzeigten. Weiter wurden im zweiten Beitrag CASSIOPE-Daten verwendet, um die thermosphärischen Dichteteaks des Sturms zu identifizieren, die fast doppelt so hoch waren wie die von Standardmodellen vorhergesagten, und zudem eine höhenabhängige vertikale Bewegung zeigten, die durch Joule-Erwärmung angetrieben wurde.

In einem weiteren Vortrag wurde demonstriert, dass mittels der Schiffsdaten der MOSAiC-Expedition eine erfolgreiche GNSS-basierte Ionosphärenüberwachung in der Arktis möglich ist. In einem anderen Beitrag wurden Closed-Loop-Simulationen für LEO-POD und LEO-PNT genutzt, um eine zuverlässige Rekonstruktion der Elektronendichte zwischen 300 und 800 km zu realisieren. In diesem Zusammenhang wurde auch die große Bedeutung von Radiookkultationsdaten hervorgehoben. Ein weiterer Vortrag stellte das »Gradient Ionospheric Index-Framework« vor, das unter Verwendung geostationärer Satelliten eine kontinuierliche hochaufgelöste Überwachung von Ionosphärenstörungen ermöglicht.

In einem Beitrag wurde der Einsatz des Satelliten-Tracking-Systems DORIS für die Berechnung ionosphärischer Korrekturen in der Satellitenaltimetrie bewertet. Die erzielten Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass ein multi-technischer Ansatz, der DORIS-Daten und GNSS-basierte Ionosphärenkarten, d. h. GIMs integriert, sowohl die Genauigkeit als auch die globale Abdeckung der Ionosphärenkorrekturen verbessern würde. Zum Abschluss der Vortragssessions wurde ein »Crowdsourcing-GNSS-Framework« vorgestellt, das auch Fahrzeugdaten zur Erstellung hochaufgelöster Ionosphärenkarten nutzt und damit die Entwicklung einer technikübergreifenden Weltraumwetterüberwachung vorantreibt

Ehsan Forootan und Michael Schmidt, München

Symposium J02: Artificial Intelligence and Machine Learning in Geodesy

Im Rahmen der IAG Scientific Assembly fand erstmals ein Symposium statt, das die wachsende Bedeutung von Künstlicher Intelligenz (KI) und Maschinellem Lernen (ML) für die Geodäsie explizit thematisierte, geleitet von Benedikt Soja und Maria Kaselimi. Das Symposium war in drei Sessions gegliedert:

- *Geodetic Machine Learning: Theoretical Challenges and Opportunities for Geodesy*
- *AI for Deformation Analysis and GNSS Remote Sensing: Earth, Atmosphere, and Natural Hazards*
- *Decoding Earth's Dynamics: Machine Learning Frontiers in EOP and Gravity Field Assessment*

Das Symposium umfasste 17 mündliche Präsentationen und 22 Poster und war sehr gut besucht, was das starke und wachsende Interesse an KI/ML innerhalb der geodätischen Gemeinschaft widerspiegelt. Die Beiträge zeigten die große Bandbreite der Anwendungen von KI/ML, darunter Positionierung, Schwerefeldmodellierung, GNSS-Fernerkundung und Umweltmonitoring. Eine große Vielfalt methodischer Ansätze wurde vorgestellt – von räumlicher Modellierung und zeitlicher Vorhersage bis hin zu Klassifikation und Anomalieerkennung.

Mehrere bedeutende Fortschritte wurden hervorgehoben: hybride Physik-ML-Ansätze, die geophysikalisches Wissen in datengetriebene Modelle integrieren; neue Strategien zur realistischen Unsicherheitsquantifizierung; die ersten Anwendungen von sogenannten AI Foundation Models in der Geodäsie; der Einsatz von ML zur Nachbildung komplexer Umweltmodelle bei deutlich reduziertem Rechenaufwand sowie neuartige Anwendungen in der grundlegenden geodätischen Datenverarbeitung.

In den Diskussionen wurden die Herausforderungen und Chancen der nahen Zukunft betont, darunter der rasche Anstieg der Datenmengen, Strategien zur Integration von physikbasierten und datengetriebenen Ansätzen sowie die Bedeutung der Ausbildung, um die ML-Kompetenz innerhalb der geodätischen Gemeinschaft zu stärken.

Insgesamt zeigte das Symposium J02 sowohl die Vielfalt als auch die Reife der KI/ML-Anwendungen in der Geodäsie und das starke Momentum für zukünftige Entwicklungen. Das Symposium bot ein wertvolles Forum für den Austausch und hob Prioritäten für zukünftige Forschungsarbeiten hervor.

Benedikt Soja, Zürich

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Müller
Leibniz Universität Hannover, Institut für Erdmessung
Schneiderberg 50, 30167 Hannover
mueller@ife.uni-hannover.de

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