

Zeitschrift: Berner Geographische Mitteilungen

Herausgeber: Geographisches Institut Universität Bern, Geographische Gesellschaft Bern

Band: - (2008)

Artikel: Himmel und Erde hab' ich vermessen : die Erde als Planet aus astronomisch-geodätischer Sicht

Autor: Beutler, Gerhard

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-322800>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

wechselseitigen Abhängigkeiten von Entwicklung und Ressourcen. Der Zustand der Biosphäre ist entsprechend besorgniserregend. Für jede und jeden erwachsen so erhebliche physische und soziale Risiken. Dies sollte Grund genug sein, Problemlösungen anzustreben, die den kommenden Generationen nicht nur Trümmer hinterlassen. Es reicht jedoch nicht, den bedrohten Zustand unserer Biosphäre zu beklagen. Bildung und Aufklärung müssen den Weg weisen. Eine gerechtere Nutzung und Verteilung der essentiellen Natur- und Bodenschätze sind Grundvoraussetzung für die Linderung der sozialen Unterschiede. Die Begrenztheit der Rohstoffe zeigt: weder blinder Kolonialismus noch Wirtschafts-Freibeutertum, sondern eine globale, allen Lebensprozessen gerecht werdende Ressourcenpolitik sowie eine öko-effiziente Stoffkreislaufwirtschaft sind vonnöten. Für die Aufklärung dieser Kontexte und die Entwicklung zukunftsfähiger Perspektiven sind Stoffkarten unabdingbar.

Himmel und Erde hab' ich vermessen Die Erde als Planet aus astronomisch-geodätischer Sicht

Prof. Gerhard Beutler Astronom. Institut, Universität Bern
13. Januar 2009

Die moderne Beschreibung eines Planeten ruht auf drei Pfeilern: Der Erfassung der seiner Oberfläche, seiner Bewegung (insbesondere seiner Rotation) im inertialen Raum und seinem Gravitationsfeld. Im Vortrag werden die Methoden und Resultate der „space geodesy“ geschildert, mit denen heute ein globales terrestrisches Bezugssystem (inklusive zeitlicher Entwicklung) mit Millimeter-Genauigkeit festgelegt und die Rotation der Erde mit Milli-Bogensekunden Genauigkeit überwacht werden. Dabei werden insbesondere die Beiträge des Astronomischen Institutes der Universität Bern durch das Observatorium Zimmerwald und im Rahmen des Internationalen GNSS (Globale Navigations-Satelliten Systeme) Dienstes (IGS) vorgestellt. Die hochauflösende und genaue Bestimmung des Gravitationsfeldes führt in die aktuellste Forschung. Mit speziellen tieffliegenden Satelliten und Satellitenkonstellationen, die im Moment die Erde umrunden, wird das Gravitationsfeld der Erde mit bisher unvorstellbarer Genauigkeit und Auflösung

in Raum und Zeit bestimmt. Diese Resultate sind, zusammen mit den rein geometrischen Resultaten, von grösster Bedeutung für die Erforschung des Systems Erde, insbesondere des Massentransportes zwischen seinen Komponenten (z.B. Überwachung des Wasserkreislaufes zwischen Ozeanen, Atmosphäre und Kontinenten)

Bis etwa zum Beginn der Ära künstlicher Erdsatelliten dienten ausschliesslich Richtungsbeobachtungen der globalen Positionierung und Navigation. Dabei wurden die gleichen Instrumente zur lokalen, relativen und zur globalen, absoluten Positionierung verwendet (erst Jakobsstäbe, später spezielle astronomische Fernrohre wie Theodoliten). Zur Festlegung der Beobachtungsepochen dienten die Himmelskörper des Planetensystems als „Weltzeit-Uhren“ (z.B. die Stellung des Mondes relativ zu den Sternen, siehe Figur 1). Zur Zeit-Interpolation fanden immer genauer werdende mechanische Uhren Verwendung. Diese klassische Vermessung wird sehr schön durch die Illustration von Peter Apian's *Geographia* aus dem Jahr 1533 illustriert.



Abb. 1: Peter Apian, *Geographia*

Mit der Entwicklung von Quarz- und Atomuhren und mit den immer zahlreicher werdenden künstlichen Erd-satelliten wurde es möglich, Distanzen zwischen Observatorien und Himmelskörpern immer genauer, schliesslich cm-genau, zu messen. Eingesetzt wurde erst die Laser-Technik (LASER=Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) dann zusätzlich die Messung der Laufzeiten oder Laufzeitdifferenzen von künstlichen und natürlichen Mikrowellensignalen. Figur 2 zeigt das fundamentalastronomische Observatorium Zimmerwald mit seiner klassischen astronomischen Kuppel (links), seiner modernen optischen und Laser-Sternwarte (rechts) und der GPS-Antenne (auf dem Mast im Zentrum), deren Fusspunkt der Ursprung der neuen Landesvermessung darstellt. Mit diesen Geräten ist das Observatorium Zimmerwald in der Lage, mit einer Ausnahme alle Beobachtungen, die der modernen Positionierung und Navigation dienen, durchzuführen.

In Zimmerwald nicht vertreten ist die VLBI-Methode (Very Long Baseline Interferometry), bei der mit zwei Radioteleskopen an zwei verschiedenen Standorten, ausgestattet je mit exakt synchronisierten Atomuhren (Wasserstoffmaser), aus den unterschiedlichen Ankunftszeiten der Mikrowellensignale von Quasaren die Distanz differenzen der beiden Teleskope vom Quasar aus gesehen rekonstruiert werden. Da sich diese Distanz differenzen infolge der Erdrotation verändern, kann aus diesen Messungen nicht nur der Vektor zwischen den beiden Teleskopen, sondern auch die Rotation der Erde sehr genau rekonstruiert werden.

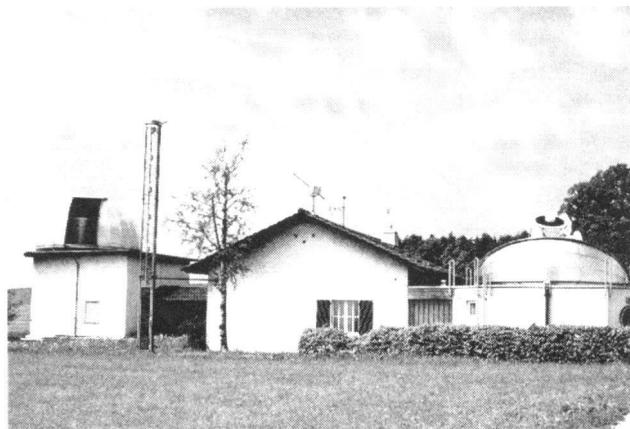


Abb. 2: Observatorium Zimmerwald

Mit den neuen Beobachtungsarten resultierte ein „Quantensprung“ in der Genauigkeit der Resultate: Positionen von Fixpunkten auf der Erde und ihre relative Bewegung sowie die Bahnen von Satelliten konnten nun mit cm-Genauigkeit vermessen werden (die Geschwindigkeit mit Bruchteilen von mm/Jahr). So war es möglich, die Bewegung der Platten der Erdkruste sehr genau und praktisch in Echtzeit zu bestimmen.

Im Vortrag wurden insbesondere die Arbeiten des IGS-Rechenzentrums CODE vorgestellt. CODE bestimmt täglich die Bahnen sämtlicher GPS- und GLONASS-Satelliten, mittlerweile total mehr als 50 Satelliten an der Zahl. Zudem wird täglich ein Netz von etwa 150-200 Beobachtungsstationen eingemessen. Auch die genaue Tageslänge und die Polschwankung (Wanderung des Rotationspols der Erde auf ihrer Oberfläche) werden im gleichen Rhythmus bestimmt. Figur 3 zeigt die von CODE ab 1993 täglich bestimmte Polschwankung. Man sieht, dass sich der Pol in „schlechten“ Kreisen um einen mittleren Pol herum bewegt. In Abständen von etwa sechs Jahres variiert der Radius dieser Bewegung von sehr klein zu relativ gross und wieder zurück zu klein. IGS steht für International GPS Service (in dem weltweit mehr als hundert Institutionen zum Nutzen der Wissenschaft und Vermessung zusammenarbeiten), GPS für das amerikanische Global Positioning System, GLONASS für das russische Pendant und schliesslich CODE für Center for Orbit Determination in Europe, das vom AIUB, von swisstopo, vom deutschen Bundesamt für Kartographie

und Geodäsie (BKG) sowie von der Technischen Universität München, Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie (IAPG), am AIUB betrieben wird.

Earth Rotation Axis as Monitored by CODE

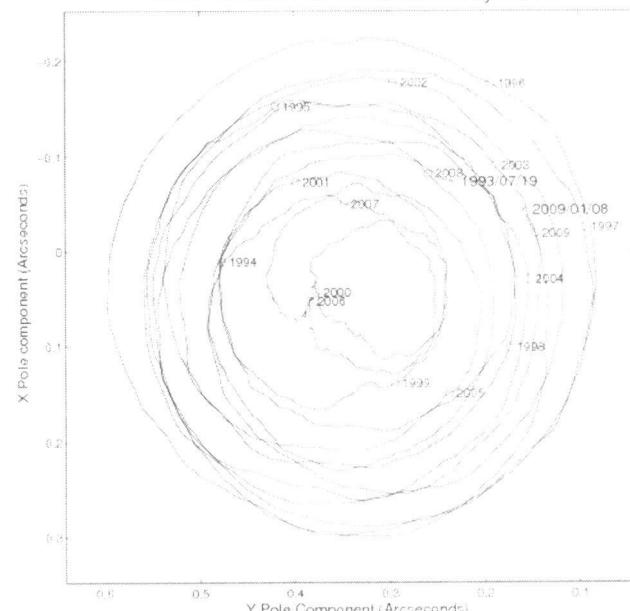


Abb. 3: mm-genaue, tägliche Polbestimmung von CODE

Die modernen Navigationssysteme GPS und GLONASS, deren Prinzipien im Vortrag im Detail erläutert wurden, erlauben es auch, die Bahnen tieffliegender Satelliten sehr genau zu rekonstruieren. Da diese Bahnen im Wesentlichen den Gesetzen der Gravitation folgen, kann aus ihnen das Gravitationsfeld der Erde sehr genau rekonstruiert werden. Mit diesem relativ neuen Gebiet beschäftigt sich das AIUB im Rahmen des „Institute for Advanced Study“, Projekt Satellitengeodäsie, der TU München. Mit der Satellitenmission GRACE, bei der nicht nur die absoluten Positionen der beiden durch etwa 200 km getrennten Satelliten mit GPS vermessen werden, sondern auch deren Distanz mit Mikrometer-Genauigkeit(!), gelingt die Rekonstruktion des Gravitationsfeldes der Erde mit bisher unvorstellbarer Genauigkeit und zeitlich-räumlicher Auflösung. Abbildung 4 illustriert die GRACE-Konstellation, Abbildung 5 die vom Satellitenpaar

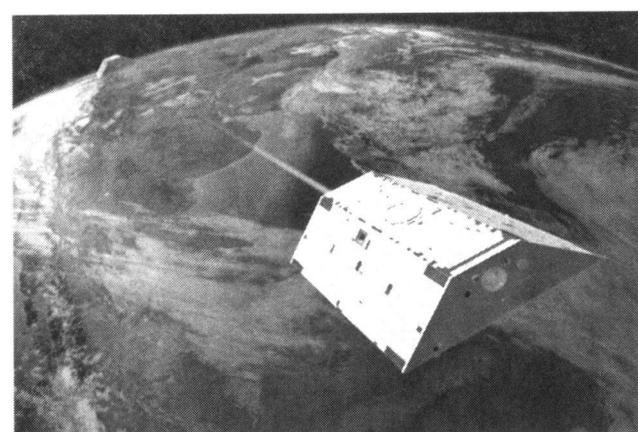


Abb. 4: Die GRACE-Mission (Artist's View)

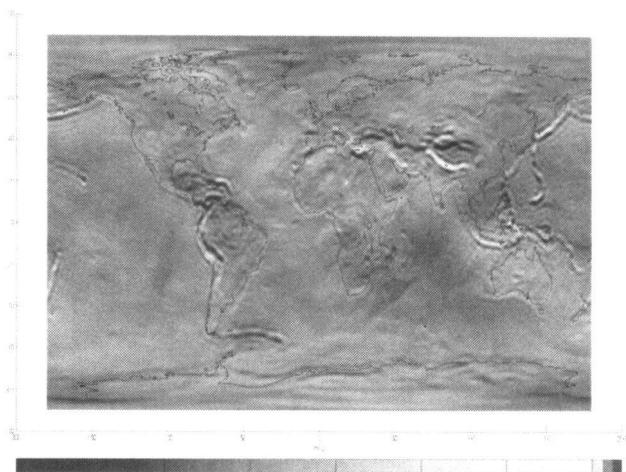


Abb. 5: Die Schwerestörung auf Meereshöhe, Nord-Süd Komponente, rekonstruiert aus den GRACE-Messungen des Jahres 2007 (Resultat im Rahmen des IAS)

rekonstruierte Gravitationsbeschleunigung (effektiv die Abweichung relativ zur Gravitationsbeschleunigung einer rotationssymmetrischen Erde) in Nord-Süd-Richtung etwa auf Meereshöhe.

Gerhard Beutler

Globalisierungsgestaltung als Schicksalsfrage – Balance oder Zerstörung?

Prof. Franz Joseph Radermacher, Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n), Universität Ulm
27. Januar 2009

Der Vortrag beleuchtet die internationale Entwicklung vor dem Hintergrund der rasch wachsenden Weltbevölkerung und dem zunehmenden Konflikt um Ressourcen und der Problematik immer größerer Umweltbelastungen, z. B. im Klimabereich. Die Frage einer nachhaltigen Entwicklung wird dadurch massiv erschwert. Das betrifft sowohl die ökologische Problematik als auch Fragen des sozialen Ausgleichs und der Gerechtigkeit und damit der weltethischen Orientierung, und zwar in einer intragenerationellen wie einer intergenerationalen Betrachtung. Als wesentlicher Faktor wird insbesondere die weltkulturelle Problematik identifiziert, die die ökologisch-sozialen Fragen weiter verschärft. Der Vortrag macht deutlich, dass sich einer bestimmten systemtheoretischen Perspektive aus den aktuellen Trends für die Zukunft drei Attraktoren zukünftiger Entwicklung ableiten, nämlich Kollaps, Ökodiktatur/Brasilianisierung und eine weltweite Ökosoziale Marktwirtschaft. Nur

der letzte Weg ist mit Nachhaltigkeit kompatibel. Der Global Marshall Plan wird als ein möglicher erster Schritt in diese Richtung vorgestellt.

Der Akzent des Vortrags von Professor Radermacher lag auf dem Fragezeichen bei Balance oder Zerstörung, wobei das Szenario der Balance als wesentlich weniger wahrscheinlich als eine Form der Zerstörung dargestellt wurde. Als entscheidende Größe für eine nachhaltige Gestaltung der Zukunft sieht Herr Radermacher die Entwicklung der Weltbevölkerung, die im Moment schneller als exponentiell wächst. Dieses ungebremste Wachstum führt zu zunehmenden Konflikten um Ressourcen und der Problematik immer größerer Umweltbelastungen, zum Beispiel im Klimabereich, eine nachhaltige Entwicklung wird dadurch massiv erschwert. Dies gilt sowohl für die ökologische Problematik als auch für Fragen des sozialen Ausgleichs und der Gerechtigkeit. Rasche und tiefgreifende Eingriffe in das Bevölkerungswachstum wurden deshalb als unumgänglich dargestellt. Aus der Problematik der Bevölkerungsentwicklung und einer damit in Verbindung stehenden zunehmenden ökologischen Belastung und der immer grösser werdenden sozialen Ungleichheit leitet Professor Radermacher drei mögliche zukünftige Entwicklungspfade der Menschheit ab, nämlich Kollaps, Ökodiktatur/Brasilianisierung und eine weltweite Ökosoziale Marktwirtschaft.

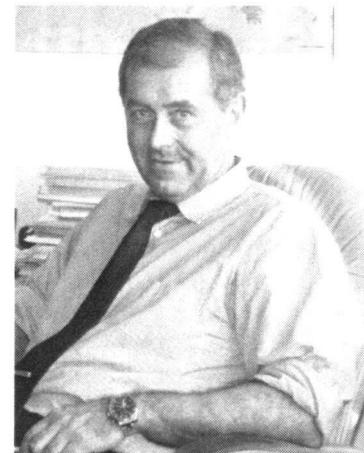


Abb. 1: Franz Joseph Radermacher (www.demeter-bw.de)

Der Kollaps als mögliches Szenario wurde als eher unwahrscheinlich dargestellt und nicht weiter ausgeführt, als wesentlich wahrscheinlicher bezeichnet Professor Radermacher die Entwicklung zu einer sogenannten Ökodiktatur oder Brasilianisierung der Welt. Darunter versteht er einerseits eine verstärkte Kontrolle durch die Besitzer der Rohstoffe (und all jener, die sie weiterhin kaufen können) und einer immer grösser werdenden Ungleichheit zwischen den Menschen. Die Ungleichheit im Bereich des Einkommens und des Besitzes ist im Moment nirgends so gross und direkt sichtbar wie in Brasilien. Eine Entwicklung in diese Richtung wäre somit fast ebenso katastrophal wie das erste Szenario des Kollapses und würde aufgrund der Ungerechtigkeit unweigerlich zu sozialen Spannungen führen. Nur das letzte Szenario ist mit Nachhaltigkeit kompatibel, nämlich die Entwicklung zu einer Ökosozialen Marktwirtschaft. Als Ökosoziale Marktwirtschaft bezeichnet Radermacher eine neue politisch-ökonomische Weltordnung, die sich