

# Geodäsie in Zeiten des Wandels – Versuch einer Standortbestimmung

Reiner Rummel

## Zusammenfassung

Die Geodäsie ist eine messende Wissenschaft. Es gehört zum Standard geodätischen Arbeitens, die erzielten Ergebnisse mit der dazugehörigen Genauigkeit und Zuverlässigkeit darzustellen. Diese Sorgfalt erklärt die anerkannte Rolle des Geodäten als Notar der Erde. Raumfahrt, Automatisierung und neue Messverfahren haben die Möglichkeiten der Geodäsie fundamental erweitert. Man könnte diese Entwicklung als »Eroberung der Dimension Zeit« zusammenfassen. Der Wandel der Kartographie von der reinen Geländedarstellung zu hochmobilen personalisierten Karten, die Rolle moderner Zeitmessverfahren in der astronomischen Geodäsie oder die Erweiterung der Aufgaben der ordnenden Geodäsie zum Land- und Stadtmanagement sind Belege dieser Entwicklung. Mit den modernen Werkzeugen entstanden neue Aufgaben und Möglichkeiten. Man denke an die aktuellen und sehr wichtigen Beiträge der Geodäsie bei der Erforschung des Klimawandels, z. B. die Bilanzierung des Eismassenverlusts der Antarktis und Grönlands oder die Quantifizierung des Meerespiegelanstiegs, und gleichermaßen an das drastisch erweiterte Aufgabenspektrum der ordnenden und planerischen Geodäsie, national wie global. Gerade in den Entwicklungs- und Schwellenländern ist der gesicherte und geordnete Zugang zu Grundeigentum ein Schlüsselthema der Zukunftsvorsorge. Eine Neubesinnung auf die gemeinsamen Grundlagen unseres Faches ist eine wichtige Voraussetzung, die Breite und Tiefe der neuen Anforderungen an die Geodäsie zu bewältigen.

## Summary

*The basis of geodetic science is its measurements. It is a geodetic trademark to present measured results always together with their estimates of accuracy and reliability. This diligence explains the geodesist's role as notary of our earth. Space age, automation and new measurement methods have opened fundamentally new opportunities. One could say: geodesy has turned from three dimensional to four dimensional. The change in cartography from pure terrain representation to highly mobile and person-centered maps, the role of modern time keeping in astronomical geodesy or the added challenges in land and city management are proof of this development. New geodetic tools created new opportunities. Today geodesy makes profound contributions to climate research, such as a solid mass balance of the current ice losses in Antarctica and Greenland, or reliable estimates of sea-level rise and its causes. At the same time we observe a significant increase of tasks in the field of land tenure and land management, both nationally and globally. Secure and orderly access to land property is key to the economic development in developing and emerging countries. No doubt, geodesy is in great shape. How-*

*ever, the width and depth of all the new challenges in geodesy will require a deep re-analysis of its common grounds.*

**Schlüsselwörter:** Geodäsie, Standortbestimmung, Entwicklungstrends

## 1 Einleitung

In diesem Aufsatz soll einerseits auf die grundlegenden Veränderungen unseres Faches eingegangen werden und andererseits auf den wichtigen Beitrag, den die Geodäsie in dieser Zeit des globalen Wandels leistet oder leisten kann. Dies ist nicht neu und wurde schon auf vielfältige Weise von Kollegen beleuchtet, z.B. Rinner (1988) oder Moritz (1990, 2001), aber vielleicht unter einem etwas anderen Blickwinkel. Die Geodäsie durchlebt eine außerordentlich erfolgreiche Zeit. Dies wird von außen wahrscheinlich deutlicher gesehen als von innen. Ich will daher auch kurz auf das geodätische Selbstverständnis eingehen.

Ausgangspunkt sollte ein gemeinsames Verständnis des Begriffs Geodäsie sein. Wir Geodäten lieben es geradezu, uns ausführlich mit Identitätsfragen zu peinigen. Hier sei es einfach und kurz gehalten. In Anlehnung an Helmerts bekannte Definition (1884, S. 3) betrachte ich die Geodäsie als die Wissenschaft von der Bestimmung der Figur der Erde, als Ganzes oder in Teilen. Damit sei der Bogen gespannt von der Erde als einem der Planeten im Sonnensystem bis zum bebauten und unbebauten Raum und zu beweglichen Objekten auf der Erde. Hieraus resultieren die großen Anwendungsfelder. Sie seien hier unterteilt in die auf Ingenieuraufgaben ausgerichtete oder angewandte Geodäsie, die erdwissenschaftliche Geodäsie und die Geodäsie, die sich mit der Ordnung und der Neuordnung von Grund und Boden befasst, s. Abb. 1<sup>1</sup>. Dabei sollte man nicht so sehr an die an den Hochschulen übliche Unterteilung in Fachgebiete denken. Die Erfassung von Hangrutschungen würde ich z.B. zur erdwissenschaftlichen Geodäsie zählen, auch wenn die dabei eingesetzten Messverfahren aus der Ingenieurgeodäsie oder Photogrammetrie kommen.

Diese Dreiteilung der Geodäsie beschreibt unsere Situation in Deutschland. Sie gilt schon nicht mehr ganz in

<sup>1</sup> Die genannte Dreiteilung erlaubt ein kleines Spiel mit dem Wort »Geodäsie«, das ja frei übersetzt »die Erde teilen« bedeutet. Bei der erdwissenschaftlichen Geodäsie liegt die Betonung auf »Geo«, während bei der ordnenden Geodäsie der Teil »däsie« betont wird.

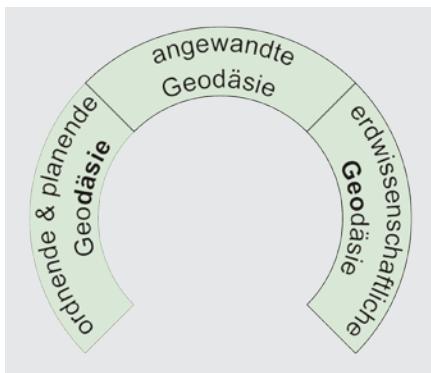


Abb. 1:  
Unterteilung der  
Geodäsie in drei  
Arbeitsgebiete

unseren Nachbarländern (Österreich, Schweiz und Niederlande), wo die planerische Geodäsie anderen Bereichen der Wissenschaft zugerechnet wird und schon gar nicht im anglo-amerikanischen Raum, wo strickt zwischen Geodesy und Surveying unterschieden wird. Mehr hierzu wird zum Beispiel in Torge and Müller (2012) gesagt.

## 2 Geodäsie und Approximationsmathematik

*»Die Geodäsie ist derjenige Teil der Geometrie, in dem die Approximationsmathematik ihre klarste und konsequenteste Durchbildung gefunden hat. Man untersucht bei ihr unausgesetzt einerseits die Genauigkeit der Beobachtungen und andererseits die Genauigkeit der Resultate, die aus den Beobachtungen folgen.«*

(Felix Klein 1928, S. 158)

Schwieriger ist die Frage zu beantworten, was die Arbeitsweise des Geodäten auszeichnet. Was ist aus wissenschaftlicher Sicht die spezifische Qualität des Geodäten und das verbindende Element zwischen den genannten drei Teilen? Aus meiner Sicht ist die Geodäsie eine messende Wissenschaft. Sie ist, was dies betrifft, vielleicht vergleichbar mit der Astronomie. Deshalb ist auch nichts gegen den Begriff »Vermessungswesen« einzuwenden. Die Messungen werden im Wirklichkeitsraum durchgeführt. Sie sind beeinflusst von den Unvollkommenheiten der Messeinrichtung und den störenden Einflüssen der Umgebung. Das Ergebnis des Messprozesses sind Zahlen, denen entsprechende Bedeutungen wie Distanz, Richtung, Winkel, Beschleunigung etc. zugeordnet werden. Sie dienen der Lösung einer geodätischen Aufgabenstellung und sind die Grundlage der Berechnung von geometrischen Formelementen, Koordinaten, Parametern etc. Die Berechnungen erfolgen im Modellraum, d.h. in der Welt der Mathematik. Die klassische Kontaktstelle von Wirklichkeitsraum und Modell sind Marken (früher Marksteine und Höhenbolzen, heute oft Antennenphasenzentren oder Reflektoren), die im mathematischen Modell zum abstrakten Punkt schrumpfen. Die unvermeid-

liche, auch mit genauesten Messungen und naturgetreuesten Modellen verbleibende Diskrepanz zwischen Messwerten und Modell wird durch das stochastische Modell beschrieben. Aus ihm werden Aussagen zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Resultate ermittelt (»ermittelt« im wahrsten Sinne des Wortes). Man erhält Aussagen zur Qualität der Ergebnisse. Die Resultate zusammen mit ihrer Qualitätsbeschreibung sind nicht Selbstzweck, sie sind Grundlage für ein Rückabbilden in den Wirklichkeitsraum, die Interpretation der Ergebnisse und Ausgangspunkt der gestalterischen Aufgaben in der Geodäsie. In Abb. 2 wird diese vereinfachte Darstellung einer Modelltheorie der Geodäsie zusammengefasst. Meine Hoffnung wäre, dieses Grundprinzip als Charakteristikum der geodätischen Arbeitsweise anzuerkennen. Es ist übergeordnet, findet bei allen geodätischen Aufgabenstellungen seine Anwendung und gehört damit zu allen Teildisziplinen der Geodäsie. Man könnte von einem Markenzeichen der geodätischen Vorgehensweise sprechen. Es deckt sich mit der oben zitierten Beschreibung von Felix Klein (1928, S. 158). Felix Klein (25.4.1849–22.6.1925) war einer der großen Mathematiker seiner Zeit. Das klassische Werkzeug des Abgleichs von Messungen und Modell ist die Ausgleichsrechnung, in Anbetracht moderner elektronischer Messverfahren vermehrt kombiniert mit der Signalanalyse und Analyse von stochastischen Prozessen.

Bemerkungen:

- Es könnte für die Geodäsie ein wichtiges Element der Zukunftsvorsorge sein, an einem derartigen »Selbstverständnis« zu arbeiten und an den Hochschulen über die geodätischen Teildisziplinen hinweg zu einem Leitfaden geodätischer Arbeitsweise zu entwickeln. An einigen Standorten scheint dieser Ansatz bereits verfolgt zu werden.
- Bei der Erstellung eines geodätischen Bezugssystems unterscheidet man konsequent zwischen »System«,

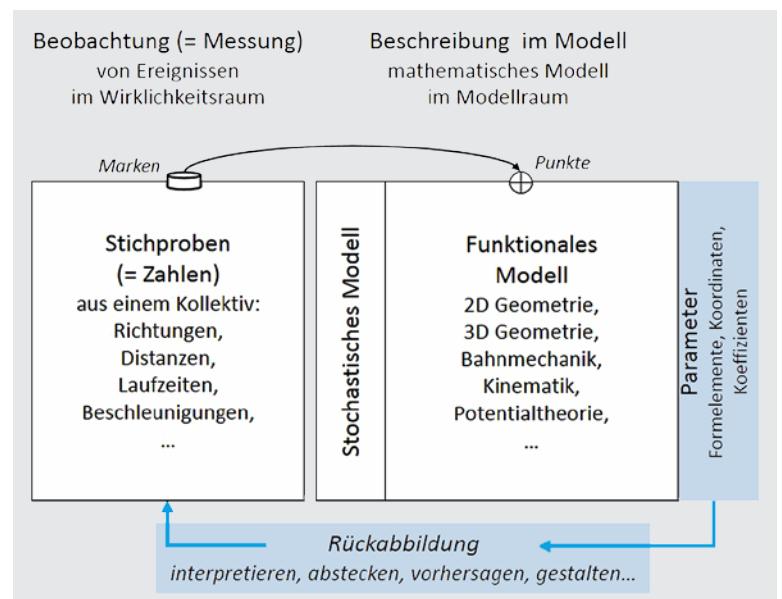


Abb. 2: Skizze einer geodätischen Modelltheorie

der mathematischen Beschreibung im Modell, und dem »Bezugsrahmen«, d.h. der Realisierung im Wirklichkeitsraum. Übrigens, die Schaffung eines zentimetergenauen globalen Referenzrahmens auf unserer hochkomplizierten dynamischen Erde ist eine grandiose – und in der Öffentlichkeit maßlos unterschätzte – Leistung der modernen Geodäsie.

- Aristoteles führte in seiner Metaphysik (Bonitz 1994) als erster den Begriff »Geodäsie« ein. Er tat dies, um das Messen von Formelementen in der Natur von der »Geometrie« als mathematischer Teildisziplin zu unterscheiden.

So können wir uns nun dem eigentlichen Thema zuwenden, der »Geodäsie in Zeiten des Wandels«. Der Titel lässt sich auf zwei Arten verstehen: einerseits die sich rapide verändernde Geodäsie und andererseits die Herausforderungen an unsere Disziplin in einer sich schnell verändernden Welt. Zuerst soll auf den Wandel der Geodäsie eingegangen werden.

### 3 Geodäsie: Am Puls von Raum und Zeit

Als die Deutsche Geodätische Kommission (DGK) im Jahr 2002 anlässlich ihres 50-jährigen Bestehens ein neues Leitbild entwarf, gab sie ihm den Titel »Am Puls von Raum und Zeit« (Buchroithner et al. 2002). Der Titel wurde mit Erlaubnis von Professor Hans Sünkel (Technische Universität Graz) eingeführt, auf den dieser Ausdruck zurückgeht. Dieser Titel bringt treffend den tiefgreifenden Wandel geodätischer Mess- und Rechenverfahren auf den Punkt. Mit dem Eintritt in das Raumfahrtzeitalter im Jahr 1957 wurde die Geodäsie schlagartig global und dreidimensional. Selbst die Ozeane, bis dahin aus geodätischer Sicht eine »terra incognita«, konnten mit Satelliten schnell und genau vermessen werden. In wenigen Jahrzehnten wurde die Genauigkeit der Messverfahren um zwei bis drei Größenordnungen gesteigert und damit die vierte Dimension, die Zeit, erschlossen. Mehr und mehr geht es in der Geodäsie nicht mehr nur um die Erfassung eines Istzustands, sondern um die Quantifizierung von Veränderungen.

Mit Beispielen aus den genannten drei Anwendungsfeldern sei dies veranschaulicht.

#### Beispiel 1: Personalisierte Kartographie

Der Auftrag der klassischen Kartographie war bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts die Darstellung der Erde oder von Teilen der Erdoberfläche in Karten. Es geht dabei um eine Synthese der Wahl einer maßstabsgerechten und mathematisch exakten Abbildung von sphärischen und ellipsoidischen Flächen in die Kartenebene mit den Erfordernissen der Kognition und Ästhetik bezüglich Gelände- und Objektdarstellung, Farbwahl, Generalisierung

und Detailreichtum. Der Schweizer Eduard Imhof (1965) definierte mit seinen Gelände- und Gebirgsdarstellungen einen international anerkannten Standard.

Heute geht es zunehmend um mobile Systeme. Elektronische Karten in mobilen Systemen erfordern einen grundsätzlich neuen Ansatz. Der am Bildschirm dargestellte Kartenausschnitt ist klein, der Betrachter befindet sich im Zentrum der Darstellung, das Kartenbild muss schnell erfassbar sein; Inhalt, Maßstab und Detailreichtum müssen sich schnell und stetig der Bewegung des Betrachters anpassen. Die Anforderungen an Geodaten in puncto Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Aktualität, Konsistenz und Vollständigkeit sind dabei enorm hoch. Man spricht von einer personalisierten, d.h. einer am Nutzer orientierten Karte (Hake et al. 2002).

#### Beispiel 2: Zeitmessung mit extremer Genauigkeit

Das enorme Gleichmaß des täglichen Durchgangs von Sternen durch einen beliebig gewählten Ortsmeridian auf unserer Erde ist Beweis für die hohe Konstanz der Erdrotation. Obwohl schon im 19. Jahrhundert kleine Irregularitäten postuliert wurden, war die Genauigkeit der Uhren für einen Nachweis nicht ausreichend (Munk and MacDonald 1975). Erst in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts erreichten Quarzuhrnen eine Konstanz, die kleine, jahreszeitliche Schwankungen im Bereich einiger Millisekunden messbar machten. Es folgten die noch genaueren Rubidium- und Cäsiumuhren. Während für die Astronomen diese Irregularitäten eher hinderlich waren, wuchs die Erforschung der Erdrotationschwankungen in der Geodäsie zu einer wichtigen erdwissenschaftlichen Teildisziplin. Auf der Beobachtungsseite lösten dabei moderne geodätische Raumverfahren die klassische astronomische Geodäsie ab. Die Schwankungen der Erdrotation werden verursacht durch den Gezeiteneinfluss von Sonne und Mond sowie durch Massenverschiebungen in Atmosphäre, Ozeanen, Eiskappen und in der festen Erde. Sie liefern daher wichtige Informationen für die Erforschung des Erdsystems. Durch den sich bereits anbahnenden Einsatz von optischen Uhren zeichnet sich nun ein weiterer Quantensprung ab. Die traditionell getrennten Welten von Raum und Zeit verschmelzen zur Raumzeit. Es ist abzusehen, dass Geodäten in nicht allzu ferner Zukunft über Uhren die Höhensysteme der verschiedenen Kontinente vereinheitlichen werden und sich der Anstieg des Meeresspiegels aus Uhrenvergleichen ableiten lassen wird (z.B. Chou et al. 2010, Mai and Müller 2013).

#### Beispiel 3: Bodenordnung und Landmanagement: statische versus dynamische Qualität

Mit dem dritten Beispiel begibt sich der Autor auf sehr dünnes Eis, auf das Terrain der Kollegen der Bodenordnung und des Landmanagements. Wie im zweiten Abschnitt ausgeführt, gehört die Qualitätsbeschreibung (Genauigkeit und Zuverlässigkeit) zum Selbstverständnis

geodätischer Arbeit. 1978 veröffentlichte Professor Karl Rinner (1978) in der Zeitschrift Humanismus und Technik einen Aufsatz mit dem Titel »Der Geodät – ein Notar der Erde«. Dies ist ein sehr schönes Bild für das Wirken des Geodäten. Denn die Geodäsie liefert gesicherte Aussagen über Zustand und Veränderungen unseres Planeten und unseres Lebensraumes: bewahrend, ordnend, sichernd und genau. Es geht Professor Rinner dabei um eine Aussage zur Qualität der geodätischen Arbeitsweise im Sinne einer statischen Qualität. Er schreibt diesen Aufsatz aber vor dem Hintergrund des sich bereits abzeichnenden globalen Wandels. Professor Rinner äußert seine Sorge über den Umgang des Menschen mit dem uns anvertrauten Planeten, mit der Endlichkeit der natürlichen Ressourcen und der rasch zunehmenden Weltbevölkerung. Der amerikanische Autor Robert M. Pirsig unterscheidet in seinem Buch *Lila* (1992) zwei Arten von Qualität, eine statische (bewahrende, ordnende) und eine dynamische (verändernde, gestaltende) Qualität. In geodätischem Kontext wird diese Unterscheidung explizit durch Weiß (2002) angesprochen, der eine statische Komponente, die Sicherung des Eigentums durch Kataster und Grundbuch von einer dynamischen Komponente unterscheidet, die die Maßnahmen zur Veränderung der Eigentums-, Besitz- und Nutzungsverhältnisse am Boden umfasst. Vermutlich ging es bei der Flurbereinigung der 60er und 70er Jahre – obwohl ein Veränderungsprozess – primär um die statische Qualität, um Rechtssicherheit, Effizienz und Gerechtigkeit. Die heutigen Themen Stadtentwicklung, Landmanagement und Dorferneuerung assoziieren ich eher mit dem Begriff der dynamischen Qualität. Wenn also Magel (2011) »von einem neuen Zusammenspiel von Ordnung und Entwicklung« spricht, so geht es ihm letztlich um eine Optimierung des Wechselspiels von statischer und dynamischer Qualität.

Kennzeichnend ist jedenfalls auch hier »die Eroberung der Dimension Zeit«, die gestaltende und planerische Facette der Tätigkeit des Geodäten.

## 4 Geodäsie und globaler Wandel

Die Spannweite geodätischer Aufgaben ist enorm groß, für unsere kleine Disziplin ist sie beinahe eine Zerreißprobe. Es gilt stets komplexere Ingenieraufgaben zu bewältigen, von extrem genauen Vermessungen bei der Konstruktion von Teilchenbeschleunigern, komplexen Vermessungsaufgaben am Bau und im Maschinenbau über Indoor-Navigation und große Tunnelprojekte bis zu InSAR und Laserscanning, terrestrisch, mit Flugzeugen oder zukünftig mit Drohnen. Ähnlich vielfältig sind die aktuellen Herausforderungen in der Geoinformatik, wo es gilt, sehr komplexe Aufgaben der Datenübermittlung, -kompression, -integration, -speicherung, -bereitstellung und -darstellung zu bewältigen. Das klassische theoretische Gebäude der geodätischen Qualitätsbeschreibung

mit Genauigkeit und Zuverlässigkeit müsste wahrscheinlich erweitert werden durch die Merkmale Vollständigkeit und Aktualität.

Doch wie sieht es an den beiden Flanken aus? Die erdwissenschaftliche Geodäsie wendet sich stets mehr den Themen des Klimawandels zu, die planerische Geodäsie widmet sich zunehmend Themen des Globalen Wandels. Beide Entwicklungen sind sowohl eine gigantische Herausforderung als auch eine große Chance für unser Fach.

### Geodäsie und ihr Beitrag zur Erforschung des Klimawandels: die erdwissenschaftliche Seite

Die Geodäsie ist eine messende Wissenschaft; sie schafft daher Fakten und für die Klimadebatte wichtige »belastbare Aussagen«. In einer aufsehenerregenden Untersuchung gelang es kürzlich, mit geodätischen Mitteln die Eismassenbilanz Grönlands und der Antarktis auf feste Füße zu stellen (Shepherd et al. 2012). Es konnte nachgewiesen werden, dass Grönland ca. -142 Gt, die Westantarktis -65 Gt und die Arktische Halbinsel -20 Gt jährlich an Eis verlieren, mit steigender Tendenz. Diesem Verlust steht ein nur magerer Zuwachs von +14 Gt pro Jahr in der Ostantarktis gegenüber. Ebenso wurde es überwiegend mit geodätischen Verfahren erstmals möglich, den globalen (regional stark variiierenden) Meeresspiegelanstieg von ca. 2,6 mm/J in seine Hauptursachen zu unterteilen: in den Anteil, der durch die Erwärmung der Ozeane zustande kommt (0,9 mm/J) und in den Anteil, der sich aus der Eisschmelze aller Inlandsgletscher und der beiden großen Eisschilde ergibt (1,7 mm/J) (Church et al. 2011). Als weiteres Beispiel könnte man die Messreihen über die Schwankungen des kontinentalen Wasserkreislaufs infolge von Trockenperioden und Hochwasser aufführen. Jedes dieser Beispiele beruht auf einer Synthese geodätischer Messdaten der Fernerkundung, Photogrammetrie und der Satellitengeodäsie und Satellitengravimetrie.

Die Herausforderungen an die geodätischen »Werkzeuge« sind dabei extrem groß, da die gesuchten Klimasignale sehr klein und von vielen Störsignalen überlagert sind. Es mutet beinahe wie Science Fiction an, wenn die jährlich circa 150 Gigatonnen Eisschmelze in Grönland aus einer Veränderung des Geoids im Millimeterbereich rekonstruiert werden. Es ist bemerkenswert, dass sich zentrale Aussagen des Fünften Sachstandberichts des IPCC (2013) auf geodätische Messmethoden stützen. Leider kommen diese sehr bemerkenswerten Ergebnisse meist nicht unter der Bezeichnung »Geodäsie« in die Presse. Aber hier ist vielleicht etwas Gelassenheit angesagt; ich werde darauf zurückkommen.

### Globales Geodätisches Bezugssystem (GGOS)

Klimawandel ist ein globales Phänomen. Grundvoraussetzung für die geodätische Detektion von Klimasignalen ist ein über Dekaden stabiles, global einheitliches und überall verfügbares Bezugssystem. Die Realisierung dieses

Bezugsrahmens auf einer Erde mit Rotationsschwankungen, Polbewegung, Plattentektonik, Erd- und Ozeangezeiten, postglazialen Landhebungen, Eisschmelze und atmosphärischen und ozeanischen Auflasteffekten ist eine fantastische Leistung der modernen Geodäsie (Altamimi et al. 2011 oder Seitz et al. 2012). Erst dadurch werden die geodätischen Messverfahren in ein global einheitliches System überführbar und vergleichbar. Vor dem Hintergrund der Erforschung des Klimawandels und seiner Ursachen baut die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) ein Globales Geodätisches Beobachtungssystem (GGOS) auf (Plag and Pearlman 2009). Dies ist eine große Aufgabe, die die Unterstützung aller Geodäten in Wissenschaft und Praxis verdient. Professor Kutterer, Präsident des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie koordiniert zurzeit dieses internationale Großprojekt. Es stimmt optimistisch, dass parallel hierzu die Fédération Internationale des Géomètres (FIG) eine »Task Force on Surveyors and the Climate Change« ins Leben gerufen hat. Vielleicht gelingt es mit vereinten Kräften, eine Allianz aller geodätischen Bereiche für diese zentrale Aufgabe zu schmieden.

#### Geodäsie und ihre ordnende Rolle im Globalen Wandel: die planerische Seite

Der Klimawandel ist nur ein – wenn auch sehr zentraler – Teilaспект des noch weitaus umfassenderen Themas Globaler Wandel, siehe z.B. Heipke et al. (2012). Die ordnende und planerische Geodäsie steht dabei – in ihrer Rolle als ein Notar der Erde – vor gigantischen Herausforderungen. Hier in Deutschland, einem Hochindustrieland, das im globalen Wettbewerb steht, sind die aktuellen Themen u.a. die Energiewende, der demografische Wandel, Datennetze, Verödungstendenzen im ländlichen Raum, Flächenverbrauch. Magel (2006) spricht von einer Epochewende, bei der es um Begrenzung, Konsolidierung und wo nötig, sogar um Rückführung geht. Der gestalterischen Geodäsie fällt dabei eine besonders verantwortungsvolle und schwierige Rolle zu. Gleichzeitig resultieren aus den explosionsartigen Veränderungen in den Entwicklungs- und Schwellenländern eine Vielzahl zusätzlicher Aufgabenstellungen (Megacities, Landflucht, Ressourcenknappheit, Umweltbelastung). Der geordnete und gesicherte Zugang zu Grund und Boden ist unbestritten eine elementare Voraussetzung für eine hoffnungsvolle Zukunft dieser Regionen, nicht weniger bedeutend als der Zugang zu sauberem Wasser oder zu den natürlichen Ressourcen. Es besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass ein geordneter und rechtssicherer Zugang zu Grundeigentum eine grundsätzliche Voraussetzung für die Entwicklung von Eigentumsrechten und für wirtschaftliches Wachstum ist (Kerekes and Williamson 2008, Williamson 2010). Allerdings setzt der Erfolg dieser Entwicklung den politischen Willen und die Anwendung der Prinzipien von »good governance« voraus (van der Molen 2012).

#### Was wäre wünschenswert?

Während die erdwissenschaftliche Geodäsie wichtige Beiträge zur Erforschung des Klimawandels liefert, setzt sich die ordnende und planerische Geodäsie mit fundamentalen Fragestellungen des Globalen Wandels auseinander. Nimmt man hinzu, dass die angewandte Geodäsie mit den modernen Messverfahren, Methoden der Fernerkundung

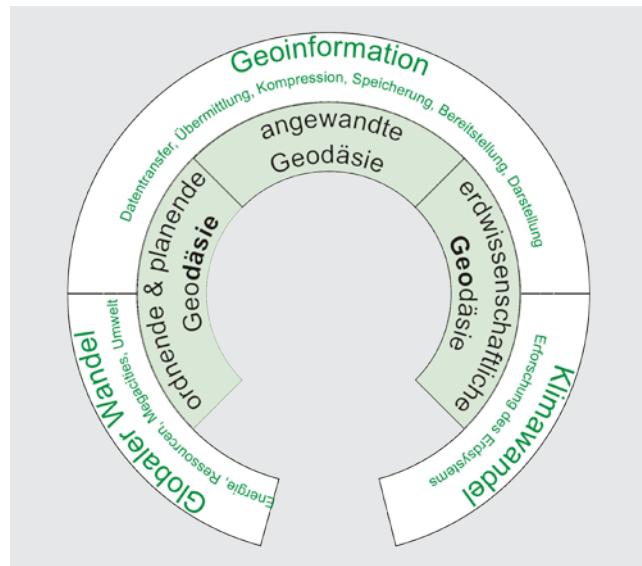


Abb. 3: Die drei Arbeitsfelder der Geodäsie in ihrer Beziehung zur Geoinformatik und der Anwendung »Globaler Wandel« und »Klimawandel«

und der Kartographie die Datengrundlage liefert für den Aufbau von nationalen Katastersystemen, anspruchsvolle Ingenieurprojekte, das »Monitoring« von Umweltveränderungen und Katastropheneinsätze, so könnte man hoffen, dass sich die drei geodätischen Arbeitsfelder zu einem Kreis schließen, s. Abb. 3.

In den Niederlanden wurde schon 1950 mit dem International Training Center (ITC) in Enschede eine Institution aufgebaut (sie gehört heute als eigene Fakultät zur Technischen Universität Twente), in der große Teile dieses Kreises in der Lehre abgebildet werden. Die Ausbildung richtet sich an junge Menschen aus Schwellen- und Entwicklungsländern, aber nicht ausschließlich. Eine ähnliche Institution in Deutschland wäre wünschenswert: Die Ausbildung junger Geodäten aus Entwicklungs- und Schwellenländern, die nach ihrer Rückkehr beim Aufbau der geodätischen Infrastruktur in ihrer Heimat helfen, die den notwendigen geodätischen Beitrag bei der Bewältigung der Herausforderungen des Globalen Wandels richtig beurteilen und die mit der deutschen Geodäsie freundschaftlich verbunden bleiben. Eine bessere Form der Entwicklungszusammenarbeit und Investition in die Zukunft unseres Faches wäre kaum vorstellbar.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Geodäsie erlebt in all ihren Zweigen eine atemberaubende Entwicklung. GPS hat die Geodäsie grundlegend verändert, bedeutende Satellitenvorhaben wurden aus der Geodäsie vorangetrieben oder in den Dienst der Geodäsie gestellt. Man spricht heute von »geodätischem SAR« oder von »geodätischer Massenbilanz«. Für die für das Jahr 2016 geplante ESA-Satellitenmission Bepi Colombo zum Planeten Merkur wurde eine »Geodetic-Geophysical Working Group« eingerichtet, um nur einige Beispiele aus dem Bereich der Satellitengeodäsie zu nennen.

In den zurückliegenden fünf Jahrzehnten entstanden fundamental neue Möglichkeiten der Datenerfassung, -haltung und -verarbeitung. Kaum eine andere Disziplin wurde durch diese Umwälzung so tiefgreifend verändert. Es vollzog sich eine Transformation von einer mehr statischen Geodäsie zu einer dynamischen Geodäsie.

Diese Entwicklung ermöglichte die sehr bedeutsamen Beiträge der Geodäsie bei der Erforschung des Klimawandels und dem Management der Ressource Boden vor dem Hintergrund des Globalen Wandels. Man könnte sogar hoffen, dass sich über die Nähe der Aufgaben, denen sich die Geodäsie heute stellt, eine gegenseitige Befruchtung oder engere Zusammenarbeit aller geodätischen Arbeitsfelder entwickelt.

Dennoch, die Geodäsie ist und bleibt eine relativ kleine Ingenieurdisziplin. Viele der genannten Neuerungen und Entwicklungen wären ohne den Beitrag von außen undenkbar gewesen. In den USA heißt derjenige »Geodät«, der Geodäsie betreibt, unabhängig davon, ob er aus Geodäsie, Elektrotechnik, Informatik, Astronomie oder Geophysik kommt. Wir sollten uns über die »eingebürgerten« Geodäten freuen und uns gleichzeitig um eine (sich weiterentwickelnde) geodätische Identität bemühen.

Allerdings resultieren aus dieser Erfolgsgeschichte neue, vielfältige und sehr anspruchsvolle Anforderungen an die wissenschaftliche Ausbildung an unseren Hochschulen, mit der Gefahr, unser Fach zu »überdehnen«. Es scheint daher angebracht, über den gemeinsamen Kern unseres Fachs, über unsere Identität, vertieft nachzudenken. Sie sollte im Zentrum der Ausbildung stehen. Was macht den Geodäten aus und was unterscheidet ihn von den Nachbardisziplinen? Dies ist wichtig, für die Inndarstellung unseres Faches gegenüber den Studierenden ebenso wie für das Bild nach außen.

### Literatur

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Metivier, L.: ITRF 2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame, *Journal of Geodesy* 85: 457–473, 2011.
- Bonitz, H.: Aristoteles Metaphysik, (Übersetzung von Bonitz, H.) Rowohls Enzyklopädie, 1994.
- Buchroithner, M., Ebner, H., Grünreich, D., Hein, G., Schlemmer, H.: Geodäsie 2000++: Ein Strategiepaper der Deutschen Geodätischen Kommission. In: Albertz, J., Bähr, H.-P., Hornik, H., Rummel, R. (Hrsg.): Am Puls von Raum und Zeit – 50 Jahre Deutsche Geodätische Kommission, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, 2002.
- Chou, C. W., Hume, D. B., Rosenband, T., Wineland, D. J.: Optical Clocks and Relativity, *Science* 329: 1630–1633, 2010.

- Church, J. A., White, N. J., Konikow, L. F., Domingues, C. M., Cogley, J. G., Rignot, E., Gregory, J. M., van den Broeke, M. R., Monaghan, A. J., Velicogna, I.: Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008, *Geophysical Research Letters*, 38, L18601, 2011.
- Hake, G., Grünreich, D., Meng, L.: Kartographie: Visualisierung raum-zeitlicher Informationen, 8. Auflage, DeGruyter, Berlin, 2002.
- Heipke, C., Kötter, T., Kusche, J., Niemeier, W.: Die Zukunft unserer Erde, Akademie Aktuell 03:51–56, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 2012.
- Helmert, F. R.: Die Mathematischen und Physikalischen Theorien der Höheren Geodäsie, Teubner, Leipzig, 1884.
- Imhof, E.: Kartographische Geländedarstellung, DeGruyter, Berlin, 1965.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Chapter 13: Sea Level Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Stockholm, 2013.
- Kerekes, C. B., Williamson, C. R.: Unveiling de Soto's mystery: property rights, capital formation, and development, *Journal of Institutional Economics* 4:3, 299–325, 2008.
- Klein, F.: Elementarmathematik III, Die Grundlehrer der Mathematischen Wissenschaften, Band 16, Springer, Berlin, 1928.
- Magel, H.: Zur Zukunft der Geodäsie aus globaler Perspektive, Grußwortadresse zum 9. Österreichischen Geodätentag in Krems, 2006.
- Magel, H.: Landesentwicklung heißt gerechte Entwicklung des Landes. In: Franke, S., Glück, A., Magel, H. (Hrsg.): Gerechtigkeit für alle Regionen in Bayern, Argumente und Materialien zum Zeitgeschehen 78, 45–46, Hans-Seidel-Stiftung, München, 2011.
- Mai, E., Müller, J.: General Remarks on the Potential Use of Atomic Clocks in Relativistic Geodesy, *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 4/2013, 257–266, 2013.
- Moritz, H.: Geodesy and geophysics in their interaction with mathematics and physics, and some open problems in geodesy. In: Gerland, G. D., Apel, J. R. (Eds.): Quo Vadimus: Geophysics for the next generation, Geophysical monograph 60, 1–4, 1990.
- Moritz, H.: Was ist Geodäsie? – Eine überwiegend ernsthafte Betrachtung, *Festschrift anlässlich des 70. Geburtstags von Wolfgang Torge, Wissenschaftliche Arbeiten* 241, Hannover, 2001.
- Munk, W. H., MacDonald, G. J. F.: The Rotation of the Earth, 2. Auflage, Cambridge University Press, 1975.
- Pirsig, R. M.: Lila: An inquiry into morals, Bantam, New York City, 1992.
- Plag, H.-P., Pearlman, M. (Hrsg.): Global Geodetic Observing System, Springer, Heidelberg, 2009.
- Rinner, K.: Der Geodät – ein Notar der Erde, Humanismus und Technik 22/1, 3–10, Berlin, 1978.
- Rinner, K.: Über die Bedeutung der klassischen Geodäsie, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 7/88: 373–379, 1988.
- Rummel, R., Teunissen P.: Geodetic boundary value problem and linear inference. In: Holota, P. (Ed.): Proceedings of the International Symposium »Figure and Dynamics of the Earth, Moon and Planets«, Teil 1, 227–264, Prag, 1986.
- Seitz, M., Angermann D., Bloßfeld, M., Drewes H., Gerstl, M.: The 2008 DGFI realization of the ITRS: DTRF2008, *Journal of Geodesy* 86: 1097–1123, 2012.
- Shepherd, A., Ivins, E. R., Geron, A., Barlotta, V. R., et al.: A reconciled estimate of ice-sheet mass balance, *Science* 338: 1183–1189, 2012.
- Torge, W., Müller, J.: Geodesy, 4. Auflage, De Gruyter, Berlin, 2012.
- Van der Molen, P.: After 10 years of criticism: what is left of de Soto's ideas? International Federation of Surveyors, FIG Working Week, Rome, 2012.
- Weiß, E.: Gedanken zur Trinität von Bodeneigentum, Bodenordnung und Bodenwirtschaft, *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 2/2002, 87–89, 2002.
- Williamson, C. R.: The Two Sides of De Soto: Property Rights, Land Titling, and Development (October 7, 2011). The annual proceedings of the wealth and well-being of nations, S. 95, (Ed.: Chamlee-Wright, E.), Beloit College, 2010.

### Anschrift des Autors

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Reiner Rummel  
Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie  
Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80290 München  
rummel@bv.tum.de