



Praktische Anwendung von speziellen Spline-Verfahren zur Gletscherkinematik am Beispiel eines aktiven Blockgletschers (Tirol)

O. Wälder, K. Krainer, W. Mostler

Wie bedrohlich ist der Anstieg des Meeresspiegels?

K. Bretterbauer

An Efficient Technique for Harmonic Analysis on a Spheroid (Ellipsoid and Sphere)

H. Abd-Elmotaal

Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne und Intelligente Navigationssysteme und -dienste

G. Retscher





Österreichische Zeitschrift für
**Vermessung &
Geoinformation**

**Organ der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation
und der Österreichischen Geodätischen Kommission**

92. Jahrgang 2004

Heft: 3&4/2004

ISSN 0029-9650

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Wolfgang Gold

Stellvertreter: Dipl.-Ing. Stefan Klotz

Dipl.-Ing. Ernst Zahn

A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

Internet: <http://www.ovg.at>

O. Wälder, K. Krainer, W. Mostler:

**Praktische Anwendung von speziellen Spline-Verfahren
zur Gletscherkinematik am Beispiel eines aktiven
Blockgletschers (Tirol) 107**

K. Bretterbauer:

Wie bedrohlich ist der Anstieg des Meeresspiegels? 118

H. Abd-Elmotaal:

**An Efficient Technique for Harmonic Analysis on a
Spheroid (Ellipsoid and Sphere) 126**

G. Retscher:

**Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne
und Intelligente Navigationssysteme und -dienste 136**

Dissertationen und Diplomarbeiten 145

Recht & Gesetz 146

Mitteilungen und Tagungsberichte 156

Veranstaltungskalender 157

Impressum



Organ der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation und der Österreichischen Geodätischen Kommission

92. Jahrgang 2004 / ISSN: 0029-9650
<http://www.ovg.at>

Herausgeber und Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien zur Gänze. Bankverbindung: Österreichische Postsparkasse BLZ 60000, Kontonummer PSK 1190933.

Präsident der Gesellschaft: Dipl.-Ing Gert Steinkellner, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-4604, Fax (01) 2167550.

Sekretariat der Gesellschaft: Dipl.-Ing. Karl Haussteiner, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-2311, Fax (01) 2167551.

Schriftleitung: Dipl.-Ing. Wolfgang Gold, Krotenthallergasse 3, A-1080 Wien, Tel. (01) 40146-212, Fax (01) 40146-333, Dipl.-Ing. Stefan Klotz, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3609, Fax (01) 2167551, Dipl.-Ing. Ernst Zahn, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien, Tel. (01) 21176-3209, Fax (01) 2167551.

Manuskripte: Bitte direkt an die Schriftleitung senden. Es wird dringend ersucht, alle Beiträge in digitaler Form auf Diskette zu übersenden. Genaue Angaben über die Form der Abfassung des Textteiles sowie der Abbildungen (Autoren-Richtlinien) können bei der Schriftleitung angefordert werden. Beiträge können in Deutsch oder Englisch abgefaßt sein; Hauptartikel bitte mit einer deutschsprachigen Zusammenfassung und einem englischen Abstract einsenden. Namentlich gezeichnete Beiträge geben die Meinung des Autors wieder, die sich nicht mit der des Herausgebers decken muß. Die Verantwortung für den Inhalt des einzelnen Artikels liegt daher beim Autor. Mit der Annahme des Manuskriptes sowie der Veröffentlichung geht das alleinige Recht der Vervielfältigung und Wiedergabe auf den Herausgeber über.

Copyright: Jede Vervielfältigung, Übersetzung, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen sowie

Mikroverfilmung der Zeitschrift oder von in ihr enthaltenen Beiträge ohne Zustimmung des Herausgebers ist unzulässig und strafbar. Einzelne Photokopien für den persönlichen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen davon angefertigt werden.

Anzeigenbearbeitung und -beratung: Dipl.-Ing. Wolfgang Gold, Krotenthallergasse 3, A-1080 Wien, Tel. (01) 40146-212. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

Erscheinungsweise: Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte). Auflage: 1500 Stück.

Abonnement: Nur jahrgangsweise möglich. Ein Abonnement gilt automatisch um ein Jahr verlängert, sofern nicht bis zum 1.12. des laufenden Jahres eine Kündigung erfolgt. Die Bearbeitung von Abonnementangelegenheiten erfolgt durch das Sekretariat. Adreßänderungen sind an das Sekretariat zu richten.

Verkaufspreise: Einzelheft: Inland 15 €, Ausland 18 €; Abonnement: Inland 50 €, Ausland 60 €; alle Preise exclusive Mehrwertsteuer. Mitglieder des OVG erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Satz und Druck: Buchdruckerei Ernst Becvar Ges.m.b.H., A-1150 Wien, Lichtgasse 10.

Offenlegung gem. § 25 Mediengesetz

Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien zur Gänze.

Aufgabe der Gesellschaft: gem. § 1 Abs. 1 der Statuten (gen. mit Bescheid der Sicherheitsdirektion Wien vom 08.04.2003): a) die Vertretung der fachlichen Belange der Vermessung und Geoinformation auf allen Gebieten der wissenschaftlichen Forschung und der praktischen Anwendung, b) die Vertretung aller Angehörigen des Berufsstandes, c) die Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Kollegen der Wissenschaft, des öffentlichen Dienstes, der freien Berufe und der Wirtschaft, d) die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, e) die Herausgabe einer Zeitschrift mit dem Namen „Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation“ (VGI).

Erklärung über die grundlegende Richtung der Zeitschrift: Wahrnehmung und Vertretung der fachlichen Belange aller Bereiche der Vermessung und Geoinformation, der Photogrammetrie und Fernerkundung, sowie Information und Weiterbildung der Mitglieder der Gesellschaft hinsichtlich dieser Fachgebiete.



Olga Wälder, Dresden;

Karl Krainer und Wolfram Mostler, Innsbruck

Praktische Anwendung von speziellen Spline-Verfahren zur Gletscherkinematik am Beispiel eines aktiven Blockgletschers (Tirol)

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungen an einem hochaktiven Blockgletscher im Inneren Reichenkar (westliche Stubai Alpen, Tirol) vorgestellt. Die Erfassung der Fließbewegung, insbesondere ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung, ist sehr wesentlich für das Verständnis des Bewegungsmechanismus und der Dynamik eines Blockgletschers. Die Verwendung des GPS-Meßsystems führte im Hochgebirge im Vergleich zu herkömmlichen geodätischen und photogrammetrischen Methoden zu verbesserter Messgenauigkeit. Ein mathematisches Modell und seine praktische Anwendung bei der Beschreibung sowie Interpretation von zeitlich-räumlichen Prozessen am Blockgletscher werden diskutiert.

Abstract

In this paper some investigations on the highly active rock glacier Reichenkar (western Stubai Alps, Tyrol) are presented. The study of the flow velocity of rock glaciers is very important for understanding the flow mechanism and the dynamic of rock glaciers. Of special interest is the time-space distribution of the movement. The use of the GPS-method leads to an improved accuracy of measurements compared to the classical geodetic and photogrammetric methods. A mathematical model and its practical application in describing and interpreting time-space processes of a rock glacier are discussed.

1. Einleitung

Alle Prozesse bzw. Gesetzmäßigkeiten, die in den Geowissenschaften untersucht werden, können räumlich-zeitlichen Phänomenen zugeordnet werden. Die Erfassung von Datenmaterial spielt bei der weiteren Analyse eine enorm wichtige Rolle.

Die mathematische Basis der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen stellen spezielle Interpolationsmethoden für differentialgeometrische Größen dar, die eine bequeme und aussagekräftige Analyse von solchem Datenmaterial ermöglichen, das nicht auf konventionelle Weise bearbeitet werden kann, siehe [46]-[49]. Als geeignetes Beispiel solcher Daten können die Untersuchungen zur Gletscherkinematik genannt werden, vgl. Abschnitt 2.

Im Rahmen von Forschungsprojekten werden seit 1997 an einigen ausgewählten Blockgletschern der westlichen Stubai Alpen (Inneres Reichenkar, Sulzkar), westlichen Öztaler Alpen (Kaiserbergtal, Olgrube) und der Schobergruppe sowohl die äußere Morphologie als auch der interne Aufbau aktiver Blockgletscher im Detail erfasst, wobei auch das geologische und hydrogeologische Umfeld (Gesteinsaufbau, Zerlegungsgrad der Gesteine, Verwitterungsgrad, Schuttanfall,

Vergletscherung im Einzugsgebiet, Niederschläge etc.) in die Untersuchungen miteinbezogen wird, siehe [5], [24]-[29]. Erstmals wurden die Bewegungsraten am hochaktiven Blockgletscher im Inneren Reichenkar mit der GPS-Methode gemessen, siehe [9], [10]. Die Erfassung der Fließbewegung, insbesondere der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Fließbewegung, ist sehr wesentlich für das Verständnis des Bewegungsmechanismus und der Dynamik eines Blockgletschers. Allerdings lässt sich aus der Fließbewegung allein noch kein Fliemodell ableiten.

Die Anwendung des GPS-Meßsystems führte im Hochgebirge im Vergleich zu den herkömmlichen geodätischen und photogrammetrischen Methoden zu verbesserter Messgenauigkeit. Darüber hinaus bilden die Messergebnisse eine wichtige Grundlage zur Interpretation des Fließverhaltens und der Dynamik aktiver Blockgletscher. Es ist geplant, die Messungen über einen längeren Zeitraum fortzuführen. Umso wichtiger ist es, ein geeignetes mathematisches Modell zur Beschreibung sowie Interpretation dieser Prozesse weiter zu entwickeln bzw. zu modifizieren. In der vorliegenden Arbeit werden einige Ergebnisse vorgestellt und kurz diskutiert.

2. Aktive Blockgletscher

2.1 Definition und Entstehung

Blockgletscher sind lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial (Hangschutt, Moräne) und Eislinen bzw. Eiskörpern, die sich langsam hangabwärts bewegen. Die Bewegung erfolgt ähnlich wie bei Gletschern durch Kriechprozesse als Folge der internen Deformation. Die Entstehung von Blockgletschern ist nach wie vor sehr umstritten. Während in [3], [4] und [16], [17] Blockgletscher ausschließlich als Erscheinungen des alpinen Permafrostes auffassen („ice-cemented rock glaciers“) und andere Entstehungsmöglichkeiten strikt ablehnen, betonen andere Autoren wie [1], [11], [19], [20], [21], [31], [34], [34], [41]-[43], [44], [45] auch die Möglichkeit der Entstehung aus zurückschmelzenden Kargletschern („ice-cored rock glaciers“). Im Rahmen einer von der American Geophysical Union initiierten Chapman Conference im August 1996 sind alle Teilnehmer einstimmig zur Auffassung gekommen, dass es auch Blockgletscher glazialen Ursprungs (ice-cored rock glacier) gibt, siehe [12]. Damit sollte der jahrzehntelange Streit über die Entstehung von Blockgletschern nun endgültig beendet sein. Auf alle Fälle zählen Blockgletscher zu den wichtigsten und häufigsten morphologischen Erscheinungen des Hochgebirges.

Blockgletscher sind in den Ostalpen, vor allem in den Zentralalpen oberhalb ca. 2.500 m Seehöhe weit verbreitet. In einem jüngst veröffentlichten Blockgletscherinventar hat [30] für den östlichen Teil der österreichischen Alpen 1451 Blockgletscher (1169 fossile und 282 intakte) aufgelistet. Auch aus den Stubai- und Ötztal- Alpen sowie aus der Silvretta Gruppe sind zahlreiche, teils sehr große und hochaktive Blockgletscher bekannt, siehe [13], [14]. Während aus den Westalpen, insbesondere aus den Schweizer Alpen bereits zahlreiche Detailstudien von Blockgletschern vorliegen, sind in den Ostalpen bislang nur wenige Blockgletscher untersucht worden, siehe [30], moderne Untersuchungen fehlen weitgehend.

2.2 Bedeutung von Blockgletschern

In den letzten 150 Jahren (seit 1850) haben durch die Erwärmung die Alpengletscher ca. ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte ihrer Masse verloren, da die Schneegrenze um ca. 100 m angestiegen ist. Die Veränderungen der Alpengletscher werden auch seit gut hundert Jahren aufgezeichnet, so dass wir darüber sehr gut Bescheid wissen.

Kaum bekannt sind dagegen die Veränderungen der aktiven Blockgletscher in diesem Zeitraum. Veränderungen an aktiven Blockgletschern sind deshalb nahezu unbekannt, weil das Eis der aktiven Blockgletscher unter einer mehr oder weniger dicken, nicht gefrorenen Schuttlage verborgen und daher direkten Untersuchungen nicht zugänglich ist. In aktiven Blockgletschern sind derzeit große Schuttmassen im Hochgebirge stabilisiert, indem sie gefroren sind.

Die gegenwärtige Erwärmung könnte allerdings in den periglazialen Bereichen des Hochgebirges durch das fortschreitende Abschmelzen des Eises in aktiven Blockgletschern in nächster Zukunft zu einer beträchtlichen Zunahme von Massenbewegungen (Murgängen, Hangrutschungen, Felsstürzen etc.) führen und dadurch Straßen, Seilbahnen, Schipisten etc. gefährden. Beispiele aus den Schweizer Alpen verdeutlichen diese Problematik.

2.3 Bewegungsmessungen an aktiven Blockgletschern

Bewegungsmessungen werden an aktiven Blockgletschern bereits seit über 70 Jahren durchgeführt, langjährige Messreihen existieren jedoch im Vergleich zu normalen Gletschern nur von ganz wenigen Blockgletschern. Die Messmethodik reicht von einfachsten, recht ungenauen Vermessungen der Stirn oder von Steinreihen am Blockgletscher bis hin zu geodätischen Präzisionsmessungen mit Theodoliten und photogrammetrischen Auswertungen von Luftbildern, siehe [16], [3]. Eine Zusammenfassung der bislang gemessenen Bewegungsraten von aktiven Blockgletschern ist in den Arbeiten von [3], [16] und [38] enthalten.

Die ersten Messdaten über Fließbewegungen stammen vom Val Sassa Blockgletscher in den Schweizer Alpen mit einer durchschnittlichen Bewegungsrate von 168 cm/Jahr, vgl. [7], [8]. Laut [40] wurden in einer mehrjährigen Messreihe (1949 – 1957) am Clear Creek Blockgletscher in den Alaska Range durchschnittliche Fließbewegungen von 57 cm/Jahr im unteren Teil und 64 cm/Jahr im oberen Teil festgestellt. Seither wurden auch an vielen anderen aktiven Blockgletschern Bewegungsmessungen durchgeführt, wobei meistens nur ein oder zwei Profile quer zur Bewegungsrichtung eingemessen wurden. Jede Profilreihe besteht meist aus 5-6 markierten Gesteinsblöcken. Die Messungen erfolgten meist nur über wenige Jahre.

In Österreich hat Pillewizer bereits 1938 mit der systematischen Vermessung von aktiven Blockgletschern der otztaler Alpen (ueres und Inneres Hochebenkar bei Obergurgl, Rotschliffkar im Taschachtal, lgruben-Blockgletscher im Kaunertal) begonnen. Der Blockgletscher im äußeren Hochebenkar bei Obergurgl wird seither als einziger Blockgletscher laufend nachgemessen, weist somit in Österreich den weitaus längsten Beobachtungszeitraum von immerhin 70 Jahren auf, siehe [18], [36] und [37]. Seit 1994 werden auch am Dosener Blockgletscher (Ankogelgruppe) umfangreiche Bewegungsmessungen durchgeführt.

Nach [23] ist die Stirn des Blockgletschers im äußeren Hochebenkar in den letzten 50 Jahren um 148 m vorgestoßen, was einer mittleren jährlichen Fließgeschwindigkeit von 3 m/Jahr entspricht.

Nach luftbildphotogrammetrischen Auswertungen betrug die mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit des Dosener Blockgletschers (Ankogelgruppe) im Zeitraum 1954 – 1975 21 cm und hat sich im Zeitraum 1975 – 1993 auf 12 cm verlangsamt. Von 1954 bis 1993 hat sich die Blockgletscherstirn um 6.6 m vorbewegt, vgl. [23].

Die meisten aktiven Blockgletscher zeigen jährliche Bewegungsraten von einigen cm bis 1 m (vgl. [16]), meist liegensie deutlich unter 1 m (vgl. [4], [6], [33]–[35], [40]). Nach [3] liegen die Werte zwischen 1 – 2 cm (Minimum) und 100 – 200 cm (Maximum). Höhere Fließbewegungen sind sehr selten und meist auf spezielle topographische Verhältnisse (extrem steiles Gefälle im Stirnbereich) zurückzuführen. Die bislang höchsten Fließbewegungen wurden am Blockgletscher im äußeren Hochebenkar mit 5 m/Jahr gemessen, vgl. [37].



Abb. 1: Der aktive Blockgletscher Reichenkar in den österreichischen Alpen (Quelle: K. Krainer, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck).

2.4 Reichenkar Blockgletscher

Der Reichenkar Blockgletscher liegt im Inneren Reichenkar, einem kleinen Seitental, das in Form eines Hangetales in das Sulztal mündet, siehe Abb. 1 und 2. Das Innere Reichenkar liegt ca. 4 km SE von Längenfeld im otztal bzw. 3 km S von Gries im Sulztal (westliche Stubaier Alpen).

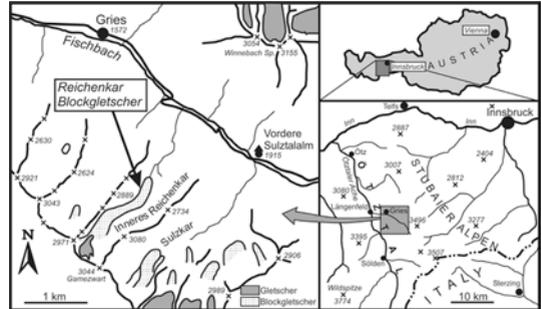


Abb. 2: Geographische Übersichtskarte zur Lage des Reichenkar Blockgletschers

Der Reichenkar Blockgletscher entwickelt sich aus einem schuttbedeckten Kargletscher, ist somit ein typischer „ice-cored rock glacier“ (Blockgletscher mit einem Kern aus Gletschereis) im Sinne von [33].

Im hintersten Teil des Inneren Reichenkars befindet sich ein kleiner schuttfreier Kargletscher. In einer deutlich ausgebildeten, ca. 5 m tiefen Depression im Übergangsbereich Kargletscher-Blockgletscher in ca. 2.730 m Seehöhe ist deutlich zu erkennen, wie das Gletschereis unter die Schuttmassen des Kargletschers hineinzieht.

Die Schuttmassen stammen vor allem aus den steilen östlichen Karwanden. Eindrucksvoll ist zu erkennen, wie die Schutfahnen auf den Kargletscher herunterziehen, am Blockgletscher umbiegen und von diesem mittransportiert werden.

Dadurch entstehen am Blockgletscher im oberen Teil markante longitudinale Rücken und Furchen.

Von der Depression bis zur Stirn ist der Blockgletscher 1.400 m lang; im mittleren und unteren Teil 170 – 190 m breit und zeigt die Form eines Talgletschers. Mit seiner imposanten, über 30 m mächtigen aktiven Stirn überfährt er eine Almweide, die Stirn endet in einer Seehöhe von 2.310 m. Am Fuße der Stirn befindet sich eine Blockgletscherquelle, an der die gesamte Schmelzwassermenge des Blockgletschers austritt. Während die Abflussmenge starken täglichen und saisonalen Schwankungen unterworfen ist,

bleibt die Wassertemperatur den ganzen Sommer hindurch konstant bei $0.7 - 0.9^{\circ}\text{C}$.

Der steile mittlere Abschnitt weist eine unruhige Oberfläche auf, hervorgerufen durch besonders aktive Schuttkörper und quer zur Fließrichtung ausgebildete, schuttverfüllte Spalten. Der relativ flache Zungenbereich ist durch zahlreiche transversale Loben charakterisiert.

Der Festgesteinsuntergrund des Einzugsgebietes besteht aus SE-NW-steichenden, steil nach N einfallenden, stark geklüfteten und von zahlreichen Störungen durchzogenen Amphiboliten und Eklogiten, die im Kammereich und entlang von Störungen infolge Frostverwitterung stark aufgelockert sind. Entsprechend setzt sich der Blockgletscher ausschließlich aus Amphibolit- und Eklogitschutt zusammen.

2.5 GPS-Vermessung

Die Fließbewegung eines Gletschers wird dadurch festgestellt, dass Punkte auf der Gletscheroberfläche eingemessen und deren Lage- und Höhenkoordinaten berechnet werden. Bei Wiederholungsmessungen in bestimmten Zeitabständen werden je nach Aufgabenstellung neue Koordinaten und Höhen berechnet. Aus deren zeitlichen Veränderungen folgt das Fließverhalten des Gletschers.

Die Markierung und das Wiederauffinden der Messpunkte sind bei einem Blockgletscher nicht so schwierig wie bei einem Eisgletscher. Zusätzlich stellt sich bei Blockgletschern jedoch die Aufgabe, die individuellen Bewegungen der Steinblöcke, auf welchen die Messmarken eingemeißelt sind, von der allgemeinen Fließbewegung zu trennen. Die wichtigste Aufgabe bei Bewegungsmessungen ist die Herstellung eines fixen, über lange Zeiträume stabilen und reproduzierbaren Koordinatensystems. Jede Veränderung des Koordinatensystems täuscht Bewegungsvektoren vor, die in Wirklichkeit nicht vorkommen. Gelingt es nicht, ein reproduzierbar stabiles Koordinatensystem zu schaffen, sind sämtliche Messungen und deren Ergebnisse unbrauchbar.

Herkömmliche Messmethoden mit Theodolit und Entfernungsmesser waren darauf angewiesen, dass entlang der Gletscherränder fixe, unbewegliche Punkte, im allgemeinen Felspunkte, gefunden wurden, von denen aus die einzelnen Gletscherpunkte eingemessen werden konnten. Die Nähe fester Felspunkte zum fließenden Gletscher war entscheidend für den Erfolg und die Genauigkeit der Bewegungsmessungen.

Mit der Entwicklung von hochpräzisen GPS-Satellitennavigationsgeräten ist das Problem des stabilen Koordinatensystems wesentlich leichter lösbar. Feste Felspunkte müssen nicht mehr nahe dem Gletscher liegen, es braucht auch keine Sichtverbindung zu den Messpunkten vorhanden sein. Methoden der Gletschervermessungen mittels GPS werden im vorliegenden Projekt entwickelt. Erste Ergebnisse lassen eine hohe Genauigkeit erwarten und bestätigen die Zuverlässigkeit von GPS für die Gletscherforschung.

2.6 Messmethodik

Zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens des aktiven Blockgletschers im Reichenkar wurden am Blockgletscher insgesamt 46 markierte Messpunkte (größere Felsblöcke mit eingemeißelten und mit roter Farbe markierten Messmarken) sowie 5 außerhalb des Blockgletschers liegende Fixpunkte mit dem Satellitennavigationssystem GPS (Global Positioning System) eingemessen.

Die Messpunkte 1 – 26 liegen im flacheren Zungenbereich und umfassen 5 Profilreihen. Die Messpunkte 27 – 31 bilden eine Profilreihe am Fuße des steileren Mittelteiles, die Messpunkte 32 – 37 bilden eine Profilreihe im unteren Mittelteil, die Messpunkte 38 – 41 eine Profilreihe im mittleren Steilbereich, und die Punkte 42 bis 46 liegen im flachen oberen Teil des Blockgletschers.

Die erste Messung („Nullmessung“) erfolgte vom 28. – 30. Juli 1997, die erste Nachmessung wurde Ende Oktober (23. – 24.10) 1997 durchgeführt, wobei witterungsbedingt nur die Messpunkte 1 – 37 nachgemessen werden konnten (Zunge und unterer Abschnitt der Steilstufe). Die zweite Nachmessung aller Punkte erfolgte am 29. und 30. Juli 1998, seither wurden mit Ausnahme des Jahres 1999 (extreme Schneelage) die Messpunkte jährlich nachgemessen.

Aus Luftbildvergleichen (Luftbilder 1954 und 1990) konnte für diesen Zeitraum von 36 Jahren für den Reichenkar-Blockgletscher ein Vorstoß der Zunge um insgesamt ca. 23 m ermittelt werden, was einer durchschnittlichen jährlichen Bewegungsrate von 0.64 m entspricht. Die GPS-Messungen ergaben eine deutlich höhere Fließgeschwindigkeit. Offensichtlich hat die Fließgeschwindigkeit in den letzten Jahren erheblich zugenommen.

Generell ergaben die Messungen hohe Bewegungsraten für die Zunge, extrem hohe Bewegungsraten für den Steilbereich und niedrige Bewegungsraten für den oberen, flachen Bereich.

Die drei morphologischen Abschnitte des Reichenkar Blockgletschers (flacher Zungenteil, steiler Mittelteil, flacher oberer Teil) zeigen auch deutliche Unterschiede in den jährlichen Bewegungsraten:

Der relativ flache Zungenbereich zeigt über-raschend hohe und einheitliche Bewegungsraten mit maximaler Fließbewegung bis zu 2.5 m im zentralen Teil, die Bewegungen nehmen zu den Rändern hin gleichmäßig ab.

Im steilen Mittelteil sind die Bewegungen sehr unterschiedlich, teilweise deutlich geringer als im Zungenbereich (Punkte 32 – 35 mit 48 – 99 cm), teilweise extrem hoch mit bis zu fast 7 m. Die Bewegungsmessungen zeigen auch sehr schön, dass die orographisch linke Seite des Blockgletschers deutlich höhere Bewegungen zeigt und somit wesentlich aktiver ist als die orographisch rechte Seite. Innerhalb der aktiveren, linken Seite sind die Fließbewegungen recht unterschiedlich.

Im oberen, flachen Abschnitt wurden dagegen die geringsten Fließbewegungen gemessen, sie liegen durchwegs unter 50 cm.

Die Messungen wurden zunächst mit dem LEICA System GPS 200, seit 2002 mit dem GPS-Gerät Z Extreme 12 Kanal L1 und L2 von Ashtec, und ab 2004 mit dem neuen, verbesserten Gerät Z Max durchgeführt. In den Jahren 2000 und 2001 wurden zur Kontrolle der GPS-Messungen die Punkte auch mit einem Theodoliten vermessen.

Die GPS-Geräte sind relativ leicht und auch leicht zu transportieren und im Gelände einfach zu bedienen. Die Messung erfolgt relativ schnell (mit dem LEICA System pro Punkt 10-15 min, mit den neuen Geräten von Ashtec wenige Sekunden). Außerhalb des Blockgletschers sind nur wenige Fixpunkte erforderlich, vor allem ist ein Sichtkontakt zwischen den einzelnen Messpunkten und Fixpunkten nicht notwendig.

Es können mehrere Geräte gleichzeitig eingesetzt werden. Die Messgenauigkeit liegt bei ± 0.5 mm.

Die Messstellen können der Abb. 3 entnommen werden. Aufgrund der ständigen Fließbewegung des Blockgletschers verkippem einzelne Messpunkte. Man läuft zwar auf dem Blockgletscher von Jahr zu Jahr näherungsweise identische Routen, Fehler können aber nicht ausgeschlossen werden. Es kann auch passieren, dass einzelne Messpunkte nicht mehr aufgefunden werden. Aufgrund von Witterungseinflüssen

im Hochgebirge können manchmal einige Stellen unpassierbar sein oder nicht erreicht werden. Die markierten Messstellen verteilen sich nicht gitterförmig auf dem Blockgletscher. Daher war eine geeignete Interpolation der gewonnenen Daten vor dem Beginn weiteren Untersuchungen notwendig, vgl. Anschnitt 3.

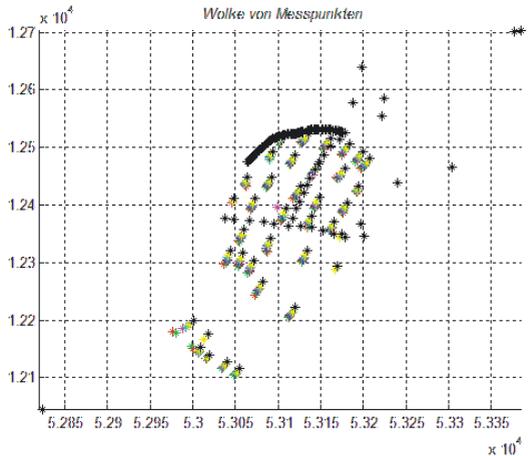


Abb. 3: Die räumlich-zeitliche Darstellung der Messungen am aktiven Blockgletscher Reichenkar (1997-2004 durch rot-grün-blau-margenta-cyan-gelb-schwarz).

3. Eine kurze Darstellung des mathematischen Modells

Beim theoretischen Modell handelt es sich um so genannte gemischte Wavelet-Splines, vgl. [46]-[49]. Diese dienen unter anderem der Erhöhung der Approximationsgenauigkeit des Georeliefs, vgl. [48], [49]. Die ursprüngliche Interpolation der Daten wurden nach dem speziell für anisotrope Medien entwickelten Verfahren aus [49] durchgeführt.

Es wird vorausgesetzt, dass die unbekannte Funktion $z = z(x, y)$ der Oberfläche des Georeliefs die folgende sequentielle Approximation (Wavelet-Spline-Darstellung) $P_k(x, y)$, $k = 1, 2, \dots$ erlaubt, siehe [46]:

$$\begin{aligned}
 P_1(x, y) &= a_0 + a_1 f_1(x) + b_1 f_1(y) + c_1 f_1(x) f_1(y), \\
 P_2(x, y) &= P_1(x, y) + a_2(x, y) f_2(x) + b_2(x, y) f_2(y) + \\
 &\quad c_2(x, y) f_2(x) f_1(y), \dots \\
 P_{k+1}(x, y) &= P_k(x, y) + a_{k+1}(x, y) f_{k+1}(x) + \\
 &\quad b_{k+1}(x, y) f_{k+1}(y) + \\
 &\quad c_{k+1}(x, y) f_{k+1}(x) f_{k+1}(y), \\
 k &= 2, 3, \dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

wobei mit $f_k(\cdot)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ die Waveletfunktionen bezeichnet werden. Mit k wird der Feinheitsgrad der Approximation beschrieben. Wir benutzen im vorliegenden Beitrag sinusoidale, zickzackförmige und polynomiale Waveletfunktionen. Zum Beispiel gilt für sinusoidale Waveletfunktionen:

$$f_k(x) = \sin(2^{k-2}\pi x), \quad k = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Die Koeffizienten a, b, c sind Amplituden. Diese werden individuell für jede Gittermasche bestimmt. Dies führt zur lokalen Adaption von Wavelet-Splines aus (1) im Gegensatz zu klassischen Ansätzen der Wavelet-Theorie. Die Besonderheit bei der Verwendung gemischter, also nicht auf eine Art der Waveletfunktion fixierter Waveletfunktionen besteht darin, dass die zusätzlich eingebaute, schrittweise Überwachung der Genauigkeit verschiedener Möglichkeiten zur Auswahl der geeignetsten Kombination von Waveletfunktionen im Laufe des Approximationsprozesses führt.

Wir bezeichnen mit $S(x, y)$ eine für bestimmten Parameter k berechnete Wavelet-Spline-Darstellung $P_k(x, y)$ aus (1). Der Begriff „Reliefenergie“ R ist in der Kartografie geläufig und kann in Matrixform wie folgt berechnet werden:

$$R = R(i, j) = \begin{cases} \frac{(\max(S_4(i, j)) - \min(S_4(i, j)))}{|x_{i+1} - x_i| \times |y_{j+1} - y_j|}, & \text{für } i, j = 1, N - 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{mit } S_4(i, j) = [S(x_i, y_i), S(x_{i+1}, y_i), S(x_{i+1}, y_{i+1}), S(x_i, y_{i+1})]$$

Wenn zwei verschiedene, mittels (1) approximierte zeitliche Epochen $z_1(x, y)$ und $z_2(x, y)$ auf ihre zeitliche Verzerrung analysiert werden sollen, kann der Begriff „Surface Dilatation“ (Oberflächenverzerrung, hier mit DIL bezeichnet) zur Analyse herangezogen werden, vgl. [39]. Für zwei zeitliche Epochen eines dynamischen Georeliefs gilt in diesem Fall:

$$DIL = \lambda_1 + \lambda_2 \quad \text{mit} \quad (4)$$

$$\lambda_1 = 0.5 \cdot \left(PAR_1 + \sqrt{PAR_1^2 - 4 \cdot PAR_2} \right),$$

$$\lambda_2 = 0.5 \cdot \left(PAR_1 - \sqrt{PAR_1^2 - 4 \cdot PAR_2} \right) \quad \text{und}$$

$$PAR_1 = tr(E \cdot A^{-1}), \quad PAR_2 = det(E \cdot A^{-1}),$$

wobei

$$A = \begin{pmatrix} 1 + \left(\frac{\partial z_1(x, y)}{\partial x} \right)^2 & \frac{\partial z_1(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial z_1(x, y)}{\partial y} \\ \frac{\partial z_1(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial z_1(x, y)}{\partial y} & 1 + \left(\frac{\partial z_1(x, y)}{\partial y} \right)^2 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 + \left(\frac{\partial z_2(x, y)}{\partial x} \right)^2 & \frac{\partial z_2(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial z_2(x, y)}{\partial y} \\ \frac{\partial z_2(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial z_2(x, y)}{\partial y} & 1 + \left(\frac{\partial z_2(x, y)}{\partial y} \right)^2 \end{pmatrix},$$

$$E = 0.5(C - A)$$

Die Deformationsanalyse der Oberfläche kann dann mittels der auf Intervall (0,1) transformierten (normierten) Surface Dilatation aus (4) veranschaulicht werden.

Die praktische Anwendung dieses Verfahrens wird an Hand der Analyse von induzierter Gletscherkinematik vom Blockgletscher Reichenkar im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

4. Eine Fallstudie: Blockgletscher Reichenkar

Durch die zeitliche Untersuchung des Blockgletschers Reichenkar konnte teilweise eine Veränderung der Gletscheroberfläche nachgewiesen werden, siehe Abb. 4–6. Dies kann entweder mit der Zunahme der Fließbewegung oder mit der Veränderung der Eismasse erklärt werden.

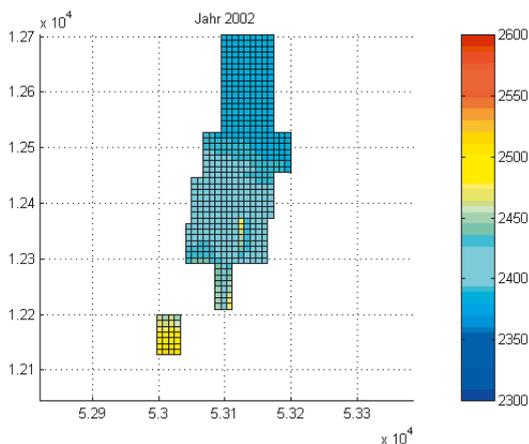


Abb. 4: Die mittels Splines interpolierte Oberfläche des Blockgletschers Reichenkar im Jahr 2002, [m].

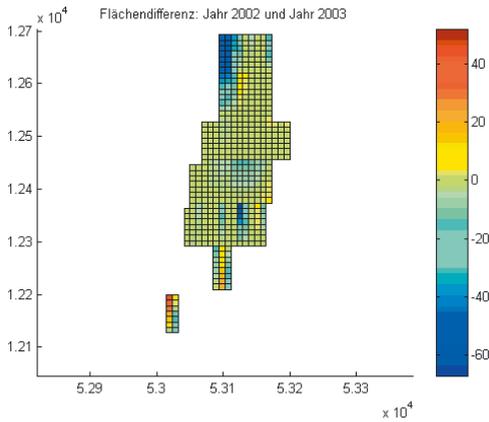


Abb. 5: Die Veränderung der Oberfläche des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2002 und 2003, [m].

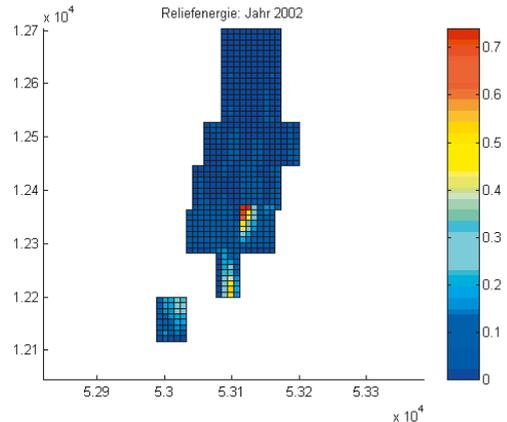


Abb. 7: Die Reliefenergie des Blockgletschers Reichenkar im Jahr 2002, [1/m].

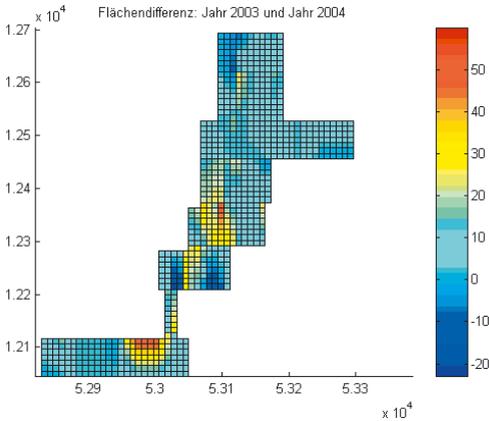


Abb. 6: Die Veränderung der Oberfläche des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2003 und 2004, [m].

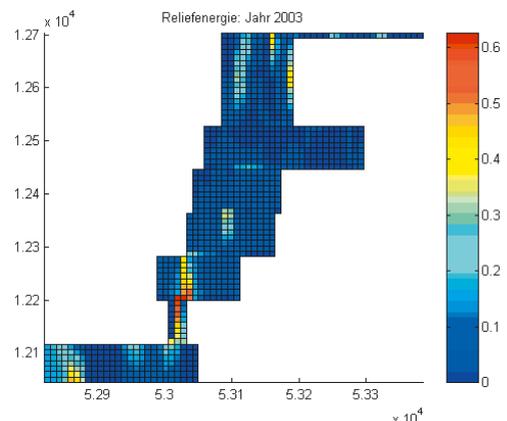


Abb. 8: Die Reliefenergie des Blockgletschers Reichenkar im Jahr 2003, [1/m].

Es ist interessant, dass die Extremstellen der Flächendifferenz aus Abb. 6 entlang eines Pfades verteilt sind. Dieser Pfad entspricht möglicherweise dem Verlauf einer unter der Blockgletscheroberflache verlaufenden Schmelzwasserrinne.

Mit Hilfe der erzeugten Spline-Oberflächen konnten einige räumlich-zeitliche, differentialgeometrische Größen aus Abschnitt 3 wie Reliefenergie, Surface Dilatation (Oberflächenverzerrung) abgeleitet werden, siehe Abb. 7–11.

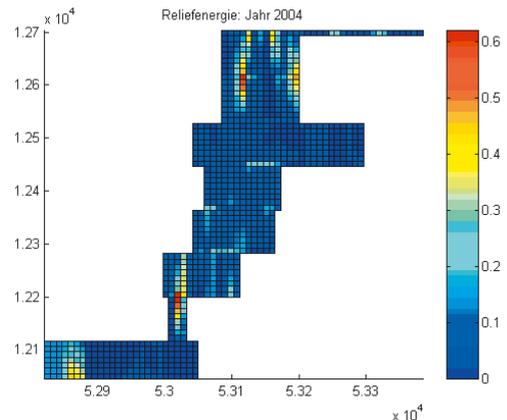


Abb. 9: Die Reliefenergie des Blockgletschers Reichenkar im Jahr 2004, [1/m].

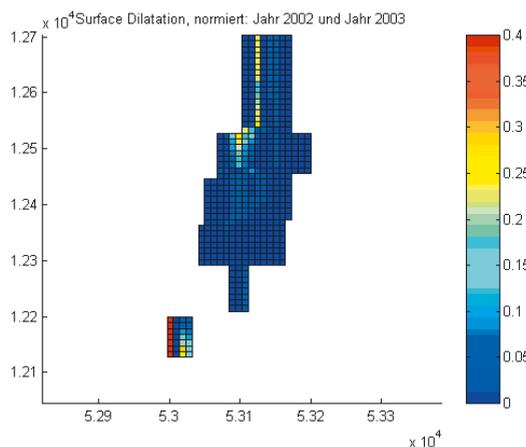


Abb. 10: Surface Dilatation (Oberflächenverzerrung, normiert) des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2002 und 2003.

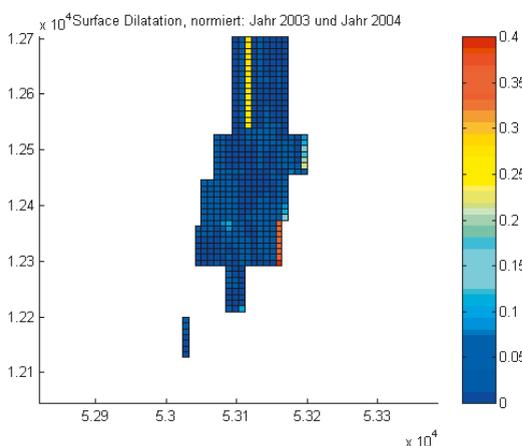


Abb. 11: Surface Dilatation (Oberflächenverzerrung, normiert) des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2003 und 2004.

Die Reliefenergie wie in Abb. 9 dient als Maß für die Variabilität der Höhenunterschiede im Relief. Man kann erkennen, dass im Zungenbereich diese Variabilität am stärksten ausgeprägt ist. Die Extremstellen der Surface Dilatation, siehe Abb. 10, 11, zeichnen die Bereiche aus, in denen die Oberflächenzerrung am auffälligsten ist. Im mittleren Bereich des Gletschers können solchen Stellen mit den Umrissen der Eiskörper zusammenhängen.

Die spezielle Untersuchung der Länge des Verschiebungsvektors wies einige Extremstellen nach, siehe Abb. 12-13. Eine weitere Detailuntersuchung ihrer Verteilung kann möglicherweise die

Hypothese überprüfen, ob ihre räumliche Lage, ergänzt durch das Bild der Extremstellen der Oberflächenzerrung, stark mit der Lage des Eiskernes korreliert.

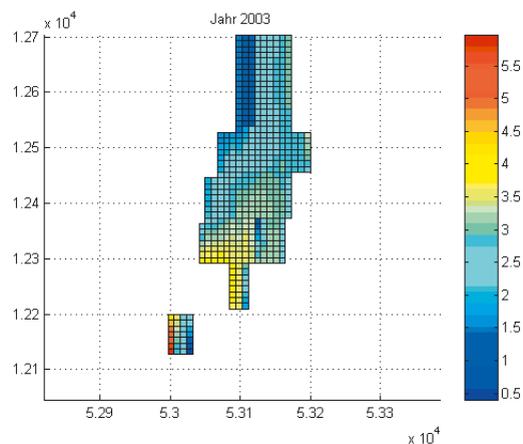


Abb. 12: Die Länge des Verschiebungsvektors des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2002 und 2003, [m].

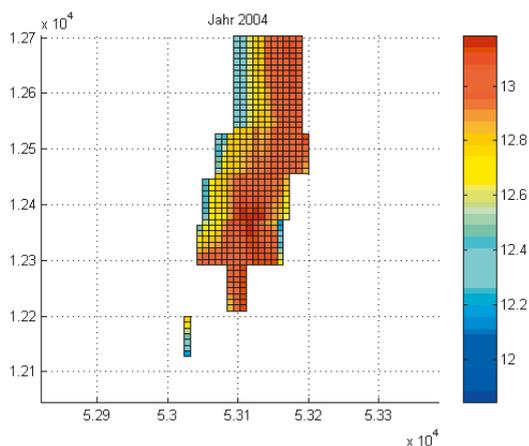


Abb. 13: Die Länge des Verschiebungsvektors des Blockgletschers Reichenkar in den Jahren 2003 und 2004, [m].

5. Ausblick und Diskussion

Der Reichenkar Blockgletscher zeigt eine Reihe von Merkmalen, die ihn als typischen „ice-cored rock glacier“ im Sinne von [33] ausweisen: ein kleiner, im wesentlichen schutfreier Kargletscher, der unter die Schuttlage (aktive Lage des Blockgletschers) hineinzieht und sich unter der Schuttbedeckung fortsetzt. Im Steilbereich kommt stellenweise massives Eis (Gletschereis)

wieder zum Vorschein. Aufgrund derverstarkten Ablation des schuttfreien Kargletschers ist im Übergangsbereich Kargletscher – schuttbedeckter Gletscher (Blockgletscher) eine schüsselförmige Depression entstanden. Charakteristisch sind auch die langgestreckten Rücken, die auf den Hangschutthalden senkrecht zur Fließrichtung des Blockgletschers verlaufen, bei Erreichen des Blockgletschers jedoch umbiegen und am Blockgletscher ausgeprägte longitudinale Rücken parallel zur Fließrichtung bilden. Ein weiteres Merkmal ist die ausgeprägte zungenförmige Form mit einem Längen-/Breitenverhältnis von 5.8. Die relativ flache Zunge des Reichenkar Blockgletschers bewegt sich derzeit mit außergewöhnlich hoher Geschwindigkeit (> 2 m/Jahr) über permafrostfreien Almboden vor. Diese Merkmale sind eindeutige Belege, dass sich der Reichenkar Blockgletscher aus einem schuttbedeckten Kargletscher entwickelt hat (Details siehe [24], [25], [28])

Nach [3] und [16] ist die Bewegung von Blockgletschern auf Kriechprozesse der gefrorenen Schuttmassen („mountain permafrost“) zurückzuführen.

Nach [41] hängt der Bewegungsmechanismus vom Blockgletschertyp ab (Permafrost- Blockgletscher oder Eiskern-Blockgletscher).

Nachdem der Reichenkar Blockgletscher ein typischer „Eiskern-Blockgletscher“ (ice-cored rock glacier) ist, kann angenommen werden, dass die Bewegung auf die interne Deformation des Gletschereises zurückgeht und der Schutt passiv am Gletschereis mittransportiert wird.

Nach [41] hängt die Fließgeschwindigkeit vor allem vom Gefälle und von der Mächtigkeit des Blockgletschers ab. Die kritische Mächtigkeit liegt bei 30 m, darunter sind keine merklichen Fließgeschwindigkeiten zu erwarten.

Im flachen, oberen Teil des Blockgletschers werden die vor allem von den steilen östlichen Karwanden auf den Reichenkar Ferner herabziehenden Hangschuttmassen passiv am Rücken des Gletschers mit sehr langsamen Fließbewegungen (sehr flach) weitertransportiert.

Die für aktive Blockgletscher extrem hohen Fließbewegungen im steilen Mittelteil sind möglicherweise auch auf Gleitbewegungen des Lokermaterials auf darunterliegendem Toteis (Gletschereis) zurückzuführen. Im Sommer 1997 konnte in einem extrem steilen Abschnitt auf der orographisch linken Seite in ca. 2.600 m Seehöhe reines, grobkörniges, massives Eis

festgestellt werden. Offensichtlich handelt es sich dabei um Toteis des zerfallenden, stark schuttbedeckten Zungenbereiches des Reichenkar Ferners. Im Steilbereich deutet die Oberflächenmorphologie darauf hin, dass es unterhalb der aktiven Lage massive Eiskörper gibt, die zerbrechen und sich zunehmend mit Blockwerk vermischen. Im Zungenbereich besteht der Blockgletscher vermutlich ebenfalls aus einem massiven Eiskern und einer auflagernden, mächtigeren Schuttlage. Die Zunge bewegt sich mit immer noch sehr hohen, recht einheitlichen Fließgeschwindigkeiten (kompressives Fließen) über den permafrostfreien Almboden. BTS-Messungen und Messungen der Quelltemperatur belegen eindeutig, dass sich auch noch im Zungenbereich unter einer mehrere m mächtigen ungefrorenen Schuttlage Eis befindet.

Die für den flachen Zungenbereich nach einem klassischen Verfahren aus [41] berechneten Fließgeschwindigkeiten von 0.2 – 0.4 m/Jahr sind viel niedriger als die tatsächlich gemessenen Werte von > 2 m/Jahr. Hydrogeologische Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Schmelzwässer des Blockgletschers, vor allem im Zungenbereich, grotenteils an der Basis des Blockgletschers fließen, was die Reibung an der Basis des Blockgletschers stark herabsetzt. Wir nehmen daher an, dass neben der internen Deformation basales Gleiten eine wesentliche Rolle spielt. Außerdem weisen die Fließbewegungen darauf hin, dass auch noch im Zungenbereich ein hoher Eisanteil vorhanden ist.

Gemischte Wavelet-Splines als mathematisches Modell zur Oberflächenapproximation stellen ein bequemes Werkzeug zur Analyse der Gletscherkinematik dar. Die sequentielle Berechnung und lokale Anpassung ihrer Koeffizienten erhöhen ihre praktische Relevanz. Die Visualisierung der nach diesem Verfahren gewonnenen Oberflächen wirkt „natürlich ungeglatet“ im Vergleich zu klassischen, auf der Triangulation oder sonstigen Vermaschungen basierenden, Spline-Darstellungen. Mit Hilfe der gewonnenen analytischen Gleichung der Oberfläche konnte die Ableitung von weiteren differentialgeometrischen Größen erleichtert werden.

Die Extremstellen der Surface Dilatation sprechen für auffällige Oberflachenzerrungen. Sie grenzen so zusagen die Bereiche besonderer Gletscheraktivitat ab. Zum Beispiel kann diese Aktivität unter der mit Schutt überdeckten Gletscheroberfläche aufgrund der Ab- bzw. Zunahme der Eismasse, des Gleitens der Eis-

körper an- bzw. miteinander hervorgerufen werden. Die Extremstellen der Länge der Verschiebungsvektoren können auf die Lage der Eiskörper deuten.

Eine detaillierte Überprüfung der Hypothese über den Zusammenhang der Verteilung der Extremstellen der Länge der Verschiebungsvektoren, der Surface Dilatation der Gletscheroberfläche und der Lage der Eiskörper des Blockgletschers ist bei späteren Untersuchungen vorgesehen.

Dank

Die Untersuchungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes (P 15218) durchgeführt, wir danken dem FWF – Der Wissenschaftsfonds für die finanzielle Unterstützung. Herrn Univ.-Prof. Dr. Günter Chesi und Dr. Thomas Weinold (Institut für Geodäsie, Universität Innsbruck) für die Hilfe bei den GPS-Messungen.

Zudem sei dem Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst des Freistaates Sachsen gedankt, das durch die Gewährung einer Habilitationsförderung ebenfalls zu dieser Arbeit beigetragen hat.

Literatur

- [1] *Ackert, R. P. (1998):* A rock glacier/debris-covered glacier system at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming. *Geografiska Annaler* 80, 267-276.
- [2] *Barsch, D. (1992):* Permafrost Creep and Rockglaciers. *Permafrost and Periglacial Processes* 3, 175-188.
- [3] *Barsch, D. (1996):* „Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environments.“ Springer-Verlag, Berlin.
- [4] *Benedict, J. B., Benedict, R. J., und Sanville, D. (1986):* Arapaho Rock Glacier, Front Range, Colorado, U.S.A.: A 25-year Resurvey. *Arctic and Alpine Research* 18, 349-352.
- [5] *Berger, J., Krainer, K. und Mostler, W.:* Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria). – *Quaternary Research* 62(3), 233-242.
- [6] *Calkin, P. E., Haworth, L. A., und Ellis, J. M. (1987):* Rock glaciers of Central Brooks Range, Alaska, U.S.A. In "Rock Glaciers." (J. R. Giardino, J. F. S. Jr., and J. D. Vitke, Eds.), pp. 65-82, London.
- [7] *Chaix, A. (1919):* Coulées de blocs (rock-glacier, rock stream) dans le Parc National Suisse de la Basse-Engadine. C. R. Séances Soc. Phys. Hist. Nat. Genève 36, 12-15.
- [8] *Chaix, A. (1923):* Les coulées de blocs du Parc National Suisse d'Engadine (Note préliminaire). *Le Globe* 62, 1-35.
- [9] *Chesi, G., Krainer, K., Mostler, W. und Weinold, T. (1999):* Bewegungsmessungen am aktiven Blockgletscher Inneres Reichenkar mit der GPS-Methode. – 10. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1999, 223-227.
- [10] *Chesi, G., Geissler, S., Krainer, K., Mostler, W. und Weinold, T. (2003):* 5 Jahre Bewegungsmessungen am aktiven Blockgletscher Inneres Reichenkar (westliche Stubaier Alpen) mit der GPS-Methode. – In: Chesi, G. & Weinold, T. (Hrsg.), 12. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2003, 201-205, H. Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- [11] *Clark, D. H., Clark, M. M., und Gillespie, A. R. (1994):* Debris-Covered Glaciers in the Sierra Nevada, California, and Their Implications for Snowline Reconstructions. *Quaternary Research* 41, 139-153.
- [12] *Clark, D. H., Steig, E. J., Potter, N., und Gillespie, A. R. (1998):* Genetic variability of rock glaciers. *Geografiska Annaler* 80 A, 175-182.
- [13] *Gerhold, N. (1967):* Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen. Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum 47, 5-50.
- [14] *Gerhold, N. (1969):* Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscherproblems. Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum 49, 45-78.
- [15] *Glen, J. W. (1955):* The creep of polycrystalline ice. *Proc. R. Soc. London, Series A* 228, 519-538.
- [16] *Haeberli, W. (1985):* Creep of mountain permafrost: Internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich 77, 1-142.
- [17] *Haeberli, W. (1989):* Glacier ice-cored rock glaciers in the Yukon Territory, Canada. *Journal of Glaciology* 35, 294-295.
- [18] *Haeberli, W., und Patzelt, G. (1982):* Permafrost-kartierung im Gebiet der Hochebenkar-Blockgletscher, Obergurgl, Ötztaler Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 18, 127-150.
- [19] *Humlum, O. (1996):* Origin of Rock Glaciers: Observations from Mellemfjord, Disko Island, Central West Greenland. *Permafrost and Periglacial Processes* 7, 361-380.
- [20] *Johnson, P. G. (1978):* Rock glacier types and their drainage systems, Grizzly Creek, Yukon Territory. *Canadian Journal of Earth Sciences* 15, 1496-1507.
- [21] *Johnson, P. G. (1980):* Glacier-rock glacier transition in the Southwest Yukon Territory, Canada. *Arctic and Alpine Research* 12, 195-204.
- [22] *Johnson, P. G., und Lacasse, D. (1988):* Rock glaciers of the Dalton Range, Kluane Ranges, south-west Yukon Territory, Canada. *Journal of Glaciology* 34, 327-332.
- [23] *Kaufmann, V. (1996):* Der Dösener Blockgletscher – Studienkarten und Bewegungsmessungen. *Arb. Inst. Geogr. Univ. Graz* 33, 141-162.
- [24] *Krainer, K. und Mostler, W. (2000):* Reichenkar Rock Glacier, a glacial derived debris-ice system in the Western Stubaier Alps, Austria. – *Permafrost and Periglacial Processes* 11, 267-275.
- [25] *Krainer, K. und Mostler, W. (2000):* Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubaier Alpen. – *Geoforum Umhausen*, Bd. 1, 28-43, Innsbruck.
- [26] *Krainer, K. und Mostler, W. (2001):* Der aktive Blockgletscher im Hinteren Langtal Kar, Gößnitz Tal (Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern). – *Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern*, Bd. 6, 139-168.

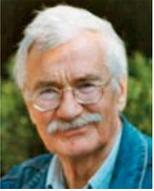
- [27] *Krainer, K. und Mostler, W. (2002)*: Hydrology of active rock glaciers: Examples from the Austrian Alps. – Arctic, Antarctic, and Alpine Research 34(2): 142-149, Boulder.
- [28] *Krainer, K., Mostler, W. und Span, N. (2003)*: A glacier-derived, ice-cored rock glacier in the western Stubai Alps (Austria): Evidence from ice exposures and ground penetrating radar investigation. – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 38, H.1: 21-34, Innsbruck.
- [29] *Krainer, K. und Mostler, W. (2004)*: Aufbau und Entstehung des aktiven Blockgletschers im Sulzkar, westliche Stubai Alpen (Tirol). – Geo.Alp 1:37-55.
- [30] *Lieb, G. K. (1996)*: Permafrost und Blockgletscher in den östlichen österreichischen Alpen. Arb. Inst. Geogr. Univ. Graz 33, 9-125.
- [31] *Outcalt, S. I., and Benedict, J. B. (1965)*: Photo interpretation of two types of rock glaciers in the Colorado front range, USA. Journal of Glaciology 5, 849-856.
- [32] *Paterson, W. S. B. (1994)*: „The Physics of Glaciers.“ Pergamon, Oxford. Pillewizer, W. (1957). Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. Geomorphologische Abhandlungen des Geographischen Institutes der FU Berlin (Otto-Maull-Festschrift) 5, 37-50.
- [33] *Potter, N. (1972)*: Ice-Cored Rock Glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. Geological Society of America Bulletin 83, 3025-3058.
- [34] *Potter, N., Steig, E. J., Clark, D. H., Speece, M. A., Clark, G. M., and Updike, A. B. (1998)*: Galena Creek rock glacier revisited – new observations on an old controversy. Geografiska Annaler 80, 251-265.
- [35] *Sloan, V. F., and Dyke, L. D. (1998)*: Decadal and millennial velocities of rock glaciers, Selwyn Mountains, Canada. Geografiska Annaler 80, 237-249.
- [36] *Vietoris, L. (1958)*: Der Blockgletscher des äußeren Hochebenkars. Gurgler Berichte 1, 41-45.
- [37] *Vietoris, L. (1972)*: Über die Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 8, 169-188.
- [38] *Vitek, J. D., and Giardino, J. R. (1987)*: Rock glaciers: a review of the knowledge base. In „Rock Glaciers.“ (J. R. Giardino, J. F. S. Jr., and J. D. Vitek, Eds.), pp. 1-26. Allen & Unwin, London.
- [39] *Voosoghi B. (2000)*: Intrinsic Deformation Analysis of the Earth Surface Based on 3-Dimensional Displacement Fields Derived From Space Geodetic Measurements. Dissertation, Stuttgart.
- [40] *Wahrhaftig, C., and Cox, A. (1959)*: Rock glaciers in the Alaska Range. Geological Society of America Bulletin 70, 383-436.
- [41] *Whalley, W. B., and Azizi, F. (1994)*: Rheological Models of Active Rock Glaciers: Evaluation, Critique and a Possible Test. Permafrost and Periglacial Processes 5, 37-51. Whalley, W. B., and Martin, H. E. (1992). Rock glaciers: II models and mechanisms. Progress in Physical Geography 16, 127-186.
- [42] *Whalley, W. B., Palmer, C., Hamilton, S., and Gordon, J. (1994)*: Ice exposures in rock glaciers. Journal of Glaciology 40, 427-429.
- [43] *Whalley, W. B., and Palmer, C. F. (1998)*: A glacial interpretation for the origin and formation of the Marinet Rock Glacier, Alpes Maritimes, France. Geografiska Annaler 80, 221-236.
- [44] *White, S. E. (1971)*: Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1961 to 1968. Arctic and Alpine Research 3, 43-64.
- [45] *White, S. E. (1976)*: Rock Glaciers and Block Fields, Review and New Data. Quaternary Research 6, 77-9.
- [46] *Wälder O., M. Buchroithner (2004)*: A method for sequential thinning of digital raster terrain models. PFG, Heft 3, S. 215-221.
- [47] *Wälder O., M. Buchroithner (2005)*: Statistical relief modelling of geo-relief with locally adaptive sequential wavelet-splines. Erscheint bei „Cartographica“.
- [48] *Wälder O. (2005)*: Frequenzanalyse des Georeliefs auf der Basis von speziellen Wavelet-Splines. Vortrag und Veröffentlichung auf der Internationalen Geodätischen Woche Obergurgl 2005, 20-26.2.2005, 10 S.
- [49] *Wälder O. (2005)*: A method for sequential thinning of digital raster terrain models II: mixed locally adaptive wavelet-splines and anisotropy. Erscheint bei PFG.

Anschrift der Autoren

Dr. Olga Wälder: Institut für Kartographie, Technische Universität Dresden, Mommsenstrasse 13, D-01062 Dresden. Email: Olga.Waelder@mailbox.tu-dresden.de

Ao. Univ.-Prof. Dr. Karl Krainer: Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck. Email: Karl.Krainer@uibk.ac.at

Mag. Wolfram Mostler: Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck. Email: Wolfram.Mostler@uibk.ac.at



Kurt Bretterbauer, Wien

Wie bedrohlich ist der Anstieg des Meeresspiegels?

Zusammenfassung

Die globale Erwärmung und der Anstieg des Meeresspiegels sind Herausforderungen für Politiker, Wissenschaftler und Journalisten. Nicht immer wird seriös darüber berichtet. Die Aussagen der Fachleute sind oft widersprüchlich. Die folgende Abhandlung stellt das Problem allgemein dar, erläutert die Bedeutung vom geodätischen Standpunkt aus und diskutiert die Prognosen für den Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100. Der Anstieg des Meeresspiegels aber ist nicht die schlimmste Bedrohung der Menschheit.

Abstract

Global warming and sea level rise pose challenges for politicians, scientists, and journalists as well. Reports are not always quite serious. Statements of experts often are contradictory. The following paper presents the problem in a general way, discusses the geodetic aspects, and gives the predictions of global sea level rise up to the year 2100. However, sea level rise is not the worst menace for mankind.

1. Einführung

Seit Jahrzehnten beschäftigt ein Thema Politiker, Wissenschaftler, Umweltschützer und Journalisten: Die globale Erwärmung und der damit verbundene Anstieg der Weltmeere. In Klimakonferenzen werden Kontroversen zwischen Staaten, Experten und NGOs (Non Governmental Organizations) ausgetragen und die Journalisten erhalten Stoff für Schlagzeilen. Die Berichte der Nachrichtenmedien sind nicht immer gut recherchiert, oft sogar falsch. Prognosen des Club of Rome von 1972 führten zu hysterischen Reaktionen von Umweltschützern. Im Vergleich zu den damals vermittelten Horrorszenarien sind die Berichte jetzt im allgemeinen vorsichtiger geworden. Die folgenden Ausführungen sind der Versuch, eine allgemeine Darstellung des Gesamtproblems zu geben und über den Stand der Erkenntnisse zu informieren.

Die prophezeiten, zum Glück nicht eingetretenen Katastrophen sowie widersprüchliche Aussagen von Fachleuten verunsichern die Bürger und fördern deren Zynismus. Seinerzeit wurde das Absterben der Wälder in Europa voraus gesagt, heute wird vor einer drohenden „Verwaldung“ gewarnt. Auch wird behauptet, Anzahl und Stärke von Naturkatastrophen würden zunehmen. Mag sein, dass dies zutrifft. Ich meine aber, die Wahrnehmung wird durch den Umstand geschärft, dass Satellitenaufklärung und elektronische Medien nahezu die ganze Weltbevölkerung fast gleichzeitig an Naturkatastrophen teilnehmen lassen. Ein Beispiel: 2002 war das

3250 km² große Larsen-Eisschelf von der antarktischen Halbinsel abgebrochen (Abb. 1). Schelfeis nennt man den schwimmenden Rand des Inlandeises. Dieses Naturereignis wurde als außergewöhnlich dargestellt, es ist jedoch ein immer wieder auftretendes Phänomen, verursacht durch das Nachdrängen des Inlandeises. Ohne die Satellitenaufklärung und die elektronischen Medien wäre dieses Ereignis gar nicht bemerkt worden.

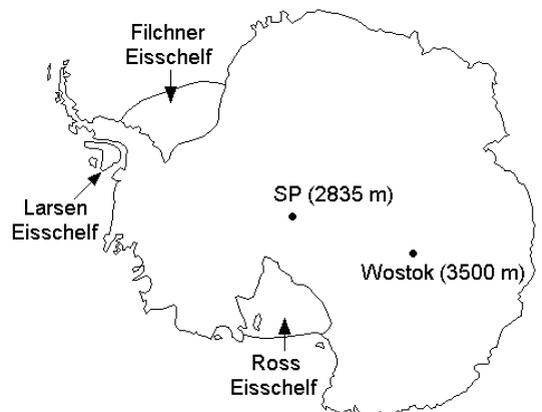


Abb. 1: Der antarktische Kontinent mit Station Wostok und Larsen-Eisschelf

In allen überlieferten Mythen der Menschheit wird von einer großen Flut berichtet. Vielleicht ist das der Ausdruck der kollektiven Erinnerung einer Weltseele an das jähe Ende der letzten Eiszeit vor weniger als 10 000 Jahren. Die Worte der Bibel

„Ich werde eine Wasserflut über die Erde kommen lassen, ...“ (Genesis 5, 17) sind allgemein bekannt. Ähnliche Worte findet man bei Platon [1]: „Wenn aber wiederum die Götter die Erde, um sie zu reinigen, mit Wasser überschwemmen, dann bleiben die, so auf den Bergen wohnen, Rinder- und Schafhirten, erhalten“. Sie haben durch das Seebeben im Indischen Ozean schreckliche Aktualität erhalten. Wir Alpenbewohner können beruhigt sein, viele Küstenbewohner aber müssen sich um die Bedrohung ihres Lebensraumes sorgen. Man denke an die Niederlande oder an bewohnte Südseeinseln, deren Oberflächen nur zehn Zentimeter über den Meeresspiegel ragen (z. B. Tuvalu, $\varphi = -8^\circ$, $\lambda = 178^\circ$ ö. Gr.). Nach den seinerzeit erstellten, übertriebenen Prognosen müssten diese Inseln längst versunken sein. Das Problem wird von einzelnen Forschern und international besetzten Expertengremien vielfältig diskutiert, aber nicht immer von allen Seiten betrachtet. Nur selten werden alle Teilaspekte genannt, die zu einer Änderung des Meeresspiegels beitragen können. Prognosen für die nächsten hundert Jahre stützen sich auf Klimamodelle, ohne dass die Wirkung mancher Phänomene auf das Klima schon geklärt wäre.

Hier sollen Fragen gestellt und die Schwierigkeiten der Messung und Berechnung des Anstiegs der Ozeane aufgezeigt werden. Für die Geodäsie ist das Problem von besonderer Bedeutung. Nicht nur die Definition der Höhensysteme ist betroffen, sondern alle physikalischen und geometrischen Parameter der Erde hängen vom Stand des Meeresspiegels ab.

Es gibt zwei Arten von Änderungen des Meeresspiegels:

- Lokale und regionale Änderungen, auch „steric changes“ genannt. Dieser, im Deutschen kaum gebrauchte Ausdruck, bezeichnet Schwankungen durch Änderungen von Salzgehalt, Luftdruck, Wassertemperatur oder Meeresströmung. Die relativ großen Schwankungen bedeuten noch keine Massenänderung der Ozeane. Sie können durch Satellitenaltimetrie und Pegelregistrierungen gut erfasst werden. Die wirkliche Ursache bleibt oft unklar.
- Eustatische Änderungen. Darunter versteht man globale, echte Massenänderungen des Meerwassers, wie sie beim Auf- oder Abbau von Eisdecken auftreten. Der Nachweis ist schwierig und noch unsicher.

2. Ein Blick in die Vergangenheit

Klimaforschung baut auf dem Verständnis der Vergangenheit auf. Starke Schwankungen des Klimas und des Meeresspiegels hat es immer gegeben. Geologen konnten aus der Untersuchung alter Strandterrassen diese Schwankungen weit in die Vergangenheit zurück verfolgen (Abb. 2).

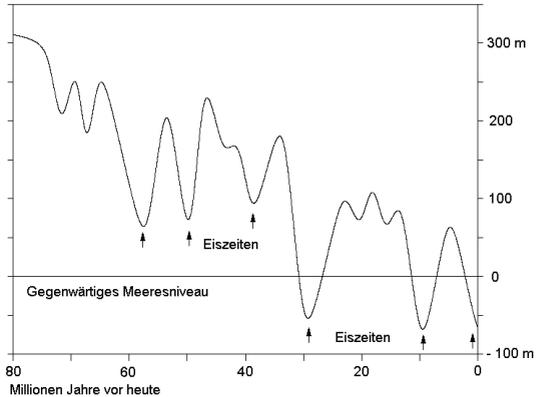


Abb. 2: Meeresspiegel in der geologischen Vergangenheit bis 80 Mill. Jahre vor heute

Man beachte die besonders niedrigen Niveaus in den Eiszeiten. Merkwürdig ist die Tatsache, dass nach jeder Eiszeit das Meeresspiegel nie mehr den vorigen Stand erreicht hat. Eine einfache Erklärung wäre die von einer kleinen Gruppe von Fachleuten, hauptsächlich aber von fanatischen Laien vertretene, von den allermeisten Geowissenschaftlern aber abgelehnte Hypothese von der Expansion der Erde. Die bisher postulierten, großen Expansionsraten müssten heute geodätisch durch Interferometrie über lange Basen (VLBI) und Gravimetrie nachweisbar sein. Jedoch, nichts deutet auf eine Expansion hin. Gerade jetzt aber hat Prof. Schmutzer (Univ. Jena) eine Theorie formuliert, die erstmals eine mathematisch-physikalisch fundierte Erklärung für die Expansion aller Himmelskörper liefert [2]. Auf die Erde angewendet, folgt eine (zeitabhängige) Radiuszunahme von gegenwärtig 0.72 mm/Jahr. Das ist nicht nachweisbar, würde aber einem Anstieg des Wassers entgegenwirken, so dass dieser noch größer sein müsste als beobachtet.

Die Klimageschichte der Vergangenheit kann aus der Untersuchung von Eisbohrkernen und Sedimenten entschlüsselt werden. Im Zuge des Projektes EPICA (European Project for Ice-Coring in Antarctica) wurden Eisbohrkerne bis zu 3200 m Tiefe von deutschen Forschern gewonnen [3]. In

dieser Tiefe ist das Eis etwa 800 000 Jahre alt. Russische Glaziologen der Station Wostok (Abb. 1) konnten schon 1980 mit einem 2083 m langen Kern 150 000 Jahre Klimageschichte rekonstruieren. Dabei werden die im Kern eingeschlossenen Luftbläschen untersucht. Der Sauerstoffisotopen-Gehalt liefert die Temperaturen der Vergangenheit, die Gasanalyse den Gehalt an den Treibhausgasen Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Stickoxid (N_2O). Es wurde eine enge Korrelation zwischen Temperatur und Kohlendioxid festgestellt. Stieg die Temperatur, stieg auch der Anteil an CO_2 . Die Frage ist: Steigt der CO_2 -Gehalt weil die Temperatur steigt, oder umgekehrt? Das entfacht erneut den Streit, ob die gegenwärtige anthropogene Zunahme des CO_2 zwangsläufig zu einem Temperaturanstieg führen muss. Auffällig ist eine sprunghafte starke Zunahme von CO_2 von 280 auf 360 ppm seit 1750, während die globale Temperatur in diesem Zeitraum nur um 0.5°C gestiegen ist. Eine Erklärung könnte die einsetzende Industrialisierung geben und ab 1850 der forcierte Kohleberg- und Eisenbahnbau, wofür große Waldbestände abgeholzt werden mussten.

Aus historischen Aufzeichnungen weiß man, dass im Hochmittelalter die Temperaturen höher waren als heute. Das Klima in Europa war so günstig, dass es bisweilen zwei Ernten pro Jahr gab. Die jetzt zurückweichenden Alpengletscher geben Baumstrünke frei (Prof. Patzelt, Univ. Innsbruck, in einem Vortrag in Obergurgl). Im Hochmittelalter wuchsen Bäume hoch über der heutigen Baumgrenze. Ab etwa 1300 kam es zu einem Klimasturz, der die sogenannte „Kleine Eiszeit“ einleitete. Nun kam es verbreitet zu Missernten und Hungersnöten. Seit 1850 wird es wieder wärmer, das Klima scheint sich zu „erholen“. Solange die Forschung diesen Klimasturz nicht plausibel erklären kann, sind alle Prognosen skeptisch zu betrachten.

3. Weitere Aspekte der Änderung von Klima und Meeresspiegel

Die (zu) einfache, jedermann einsichtige Argumentationskette zur Erklärung des Anstiegs des Meeresspiegels lautet: Die globale Temperatur steigt → die Eismassen schmelzen → der Meeresspiegel steigt. Dabei werden einige Fragen stillschweigend übergangen.

■ Ist die Menge freien Wassers auf der Erde konstant? Seltsamer Weise wird diese Frage kaum je gestellt. Es wäre erstaunlich, könnte sie eindeutig mit „Ja“ beantwortet werden. Die

Menge freien Wassers beträgt rund $1.4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Im Erdmantel ist ein Vielfaches dieser Menge gebunden [4]. In den zahllosen Thermalquellen der Tiefsee und auf den Kontinenten wird ständig juveniles Wasser freigesetzt. Andererseits, wenn Wasserdampf in die hohen Schichten der Atmosphäre gelangt, wird H_2O durch die harte Strahlung der Sonne und die kosmische Strahlung in H und O aufgespalten und der leichte Wasserstoff diffundiert in den Weltraum. Die obige Frage bleibt ungeklärt, darf aber nicht ignoriert werden.

- Hat der Klimawandel natürliche oder anthropogene Ursachen? Zweifellos haben Verkehr, Industrie und der massive Eingriff in die Natur Anteil am Klimawandel. Der Einfluss der Sonnenaktivität aber könnte doch größer sein, als bisher angenommen. Denn wie anders wären die Ereignisse im Mittelalter zu erklären? Zur genaueren Erforschung des Sonneneinflusses plant die ESA spezielle Satellitenmissionen.
- Könnten höhere Temperaturen den Meeresspiegel sogar sinken lassen? Das ist durchaus möglich. Steigende Temperaturen werden sich nach Meinung der Klimaforscher vor allem in den höheren nördlichen und südlichen Breiten auswirken. Damit steigen auch Verdunstung und Niederschläge. Das würde die Gletscherbildung begünstigen. Denn, nicht die Kälte erzeugt die Gletscher, sondern der Schnee. Zu dessen massenhafter Erzeugung bedarf es nur geringer Kälte, aber hoher Feuchtigkeit. Die mittlere Jahrestemperatur liegt in Grönland unter -15°C , in der ganzen Antarktis unter -30°C , auf der Station Wostok (Abb. 1) unter -50° . Die Niederschläge sind extrem gering, in der Antarktis nur 25 mm/Jahr Wasseräquivalent. Zur Klärung der Massenbilanz der beiden großen Eismassen wurde 2002 der Satellit ICESAT gestartet, der mittels Laser-Altimeter die Eisoberfläche abtastet [5].
- Wie wirken Wolken und Aerosole auf die Energiebilanz der Erde? Vulkanausbrüche bringen riesige Mengen an Asche, Staub und Gasen in die Atmosphäre. Der Ausbruch des Vulkans Krakatau (zwischen Java und Sumatra) im August 1883 und erneut 1928–32 reduzierte die Intensität der Sonnenstrahlung in Europa durch viele Monate um 20%. Der Ausbruch des Pinatubo (Philippinen) verbreitete Schwefeldämpfe entlang eines tropischen Gürtels, der 40% der Erdoberfläche überdeckte [6]. Berichte über lang währende Trübungen der Atmosphäre findet man in historischen Auf-

zeichnungen. Die Klimaforschung kann nicht schlüssig sagen, ob Wolken, vulkanische Gase und Aerosole die Wärmestrahlung in den Weltraum abschirmen und die Erde aufheizen, oder die Sonneneinstrahlung mindern und zu Abkühlung führen.

Meist wird auch übergangen, dass ein, wenn auch geringer Massenzuwachs der Ozeane noch andere Quellen hat. Neben der Bildung juvenilen Wassers sind zu nennen:

- Erosion, Denudation und Sedimentation. Erosion und Denudation der Kontinente betragen in $t/m^2/Jahr$ in Europa 0.1, in Afrika 0.12, Nordamerika 0.29, Südamerika 0.13, Asien 1.10 und in Australien 0.10. Ohne Isostasie und Tektonik wären alle Kontinente schon längst abgetragen. Auch die Sedimentation der anorganischen Reste von Meerestieren (Kalziumkarbonat) liefert einen kleinen Beitrag. Nebenbei, die Ozeane sind das größte Reservoir für Kohlendioxid und in den Kalkschalen von Meerestieren wird es dauerhaft gebunden [7].
- Geschiebetransport der Flüsse. Alle Flüsse der Erde führen große Geschiebemengen mit sich und deponieren diese in den Mündungen.
- Weltweites Sinken des Grundwasserspiegels durch exzessive Entnahme für Industrie und Landwirtschaft. Der Vorrat wird auf 64 Millionen km^3 geschätzt. Eine Verminderung von 1‰ ergäbe, umgelegt auf die Fläche der Ozeane, eine Wasserschicht von 12 cm.

Die genannten Beiträge sind schwer zu quantifizieren, dürfen aber nicht außer Acht gelassen werden. 1982 hat der russische Forscher R. K. Klige in einer Studie einen Volumszuwachs der Ozeane in der Zeit von 1894 bis 1975 von $\sim 26\,000\ km^3$ errechnet. Das ergibt einen Zuwachs von 7 cm, oder $+0.9\ mm/Jahr$.

4. Die Überwachung des Meeresniveaus

Die Überwachung des Meeresniveaus erfolgt seit langem durch Pegelregistrierungen und seit zwei Jahrzehnten durch die Satelliten-Altimetrie. Die meisten Analysen des Meeresniveaus stützen sich auf die Pegelmessungen.

4.1 Pegelmessungen

Die ersten Pegel wurde vor 200 Jahren zum Zwecke der Beobachtung der Gezeiten und zur Unterstützung der Küstenschifffahrt installiert. Deshalb liegen diese Pegel immer in der Nähe von Hafeneinfahrten. Erst seit wenigen Jahren werden Pegel zu rein wissenschaftlichen

Zwecken eingesetzt. Die Registrierung erfolgte früher durch Schwimmkörper, heute geschieht sie durch Abstandsmessung zur Wasseroberfläche mittels Ultraschall. Seit 1930 werden alle Pegelmessungen im Bidstone Observatory (GB) gesammelt und vom Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL) bearbeitet. Monatliche und jährliche Mittelwerte aller Pegel können unter www.nbi.ac.uk/psmsl abgerufen werden. Erst in den letzten Jahren ist es durch das GPS gelungen, alle Pegel in ein einheitliches Koordinatensystem zu bringen. In einer groß angelegten, sehr kritischen Studie haben Emery und Aubrey [8] 636 der best-dokumentierten Pegel analysiert. Die Autoren halten einen jährlichen Anstieg von 1 – 2 mm für wahrscheinlich, aber nicht gesichert. Ich selbst habe diese und viele andere Daten aus dem PSMSL nach verschiedenen Gesichtspunkten untersucht. Einige interessante Details seien hier gezeigt. Die Pegel sind geographisch schlecht verteilt. Von den 636 Pegel in [8] sind 568 auf der Nord-, 68 auf der Südhalbkugel gelegen. Sechs Pegel bestehen seit mehr als 100 Jahren, 80 seit mehr als 60, 200 seit mehr als 35, und der Rest seit weniger als 35 Jahren. Graphisch ist dies in *Abb. 3* dargestellt. Für Aussagen über das eustatische Meeresspiegel müssen die Pegelstände erst durch Mittelbildung über längere Zeit von den Gezeiten befreit werden. Die Gezeiten werden zu 2/3 vom Mond verursacht und sind erst nach 18.6 Jahren restlos eliminiert, dann nämlich, wenn die Schnittpunkte der Mondbahn mit der Ekliptik (Knoten) ihren Umlauf vollendet haben.

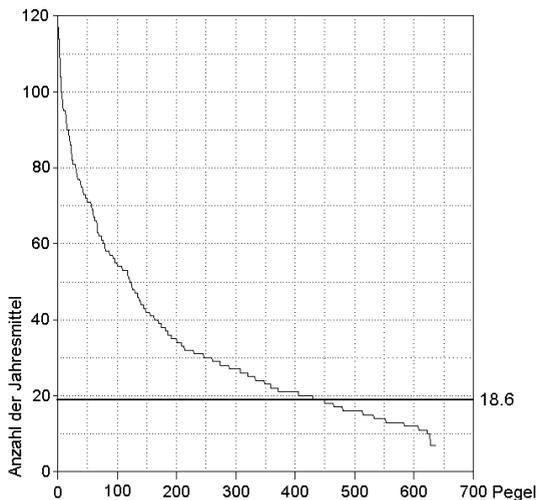


Abb. 3: Diagramm Anzahl der Jahresmittelwerte gegen Anzahl der Pegel

Interessant ist auch die *Abb. 4*. Sie zeigt die großen Lücken in den Registrierungen auf. Als Beispiel sei die Station Brest (F) gewählt. Dieser älteste Pegel wurde 1810 installiert, die Zahl der beobachteten Jahresmittelwerte bis 1990 beträgt aber nur 120. Ähnlich bei den meisten der anderen Pegel. Wäre die Zahl der Jahresmittel gleich der Anzahl von Jahren seit der Installation der Pegel, müssten alle Punkte im Diagramm entlang der eingezeichneten Diagonalen liegen.

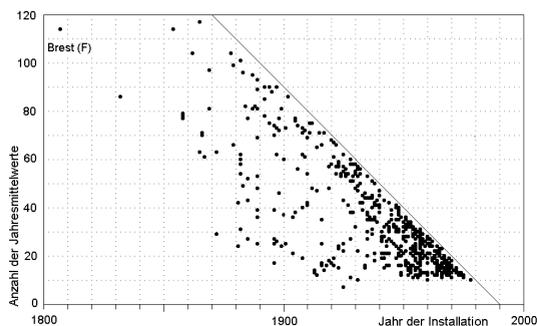


Abb. 4: Diagramm Jahr der Installation gegen Anzahl der Jahresmittelwerte von 636 Pegel aus [8]

Ein Histogramm der Trends der Pegelmessungen (*Abb. 5*) gibt Aufschluss über die Verteilung. Sie ist im Vergleich zur Normalverteilung überhöht (Exzess 0.85) und leicht linkssteil (Asymmetrie = 0.15). Verschiedene Mittelbildungen ergeben: Arithmetisches Mittel = +0.51 mm/J mit Standardabweichung ± 3.69 mm/J, Median = +0.7 mm/J, Mode = +1.1 mm/J, Exzess = 0.85, Asymmetrie = -0.15.

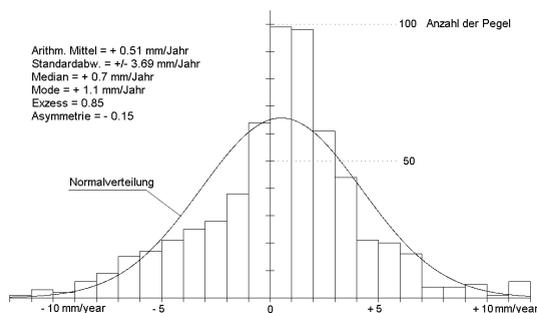


Abb. 5: Histogramm der Trends von 636 Pegel

Auffällig ist die Tatsache, dass viele relativ benachbarte Pegel entgegengesetzte Trends zeigen, besonders so in Europa, Japan und an der Ostküste Nordamerikas. Das ist nicht weiter verwunderlich. Pegel messen nur die Höhendifferenz zwischen der Wasseroberfläche und einer Landmarke und sind mehr oder minder stark

durch lokale Einflüsse gestört. Die Ursachen solcher Störungen können sein: Lokale Krustenbewegungen, Isostasie, Vulkanismus, Erdbeben, Entnahme von Erdöl, Gas (Off-shore Bohrungen) und Grundwasser, Änderungen von Meeresströmungen oder Windrichtung u.a.

Individuelle Pegelregistrierungen zeigen sehr unterschiedliche Trends mit großen periodischen Schwankungen der Jahresmittelwerte. Zwei typische Beispiele geben *Abb. 6* und *Abb. 7*.

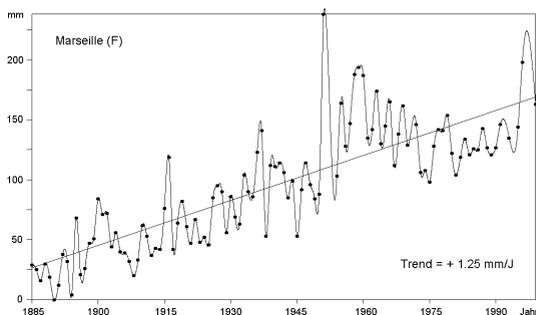


Abb. 6: Pegel Marseille, Diagramm Jahr gegen Jahresmittelwert (relatives Niveau)

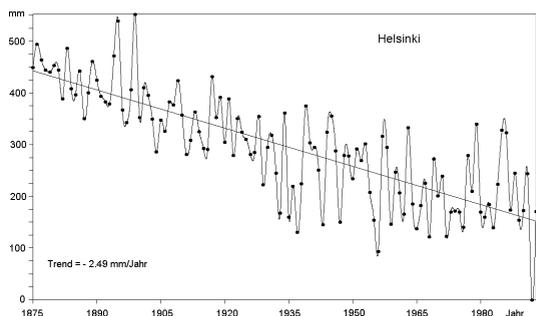


Abb. 7: Pegel Helsinki, Diagramm Jahr gegen Jahresmittelwert (relatives Niveau)

Helsinki zählt zu jenen nicht-repräsentativen Pegeln, aus deren Registrierungen keine eustatische Veränderung abgeleitet werden kann. Denn hier sinkt nicht das Meeresniveau, sondern die Landmarke hebt sich isostatisch als Folge der nacheiszeitlichen Entlastung der Erdkruste. Auffällig sind die periodischen Schwankungen. Bei den zahlreichen Pegeln, die ich in dieser Weise analysiert habe, fand ich sehr unterschiedliche Perioden der Jahresmittelwerte (von 300 bis 600 Tagen) und sehr große Amplituden (bis zu 250 mm und mehr). Die Ursache dafür ist unklar. Tendenziell aber weist die Gesamtheit der Pegelmessungen auf ein Steigen des Meeresspiegels von 1 – 2 mm/J hin.

4.2 Satellitenaltimetrie

Die Altimetrie misst die Normalabstände der Wasseroberfläche von genau bekannten Satellitenbahnen mittels Radar oder Laser. Die zahlreichen Wiederholungen der Abtastspuren erlauben es, Wellen und Gezeiten zu eliminieren. Die Messungen verschiedener Satelliten an den Kreuzungspunkten ihrer Subsatellitenspuren geben Aufschluss über die erreichte Genauigkeit. Die eingesetzten Satelliten sind: SEASAT, ERS 1 & 2, TOPEX-POSEIDON, ENVISAT u.a. Die Analysen der Daten ergaben eine sichere Bestimmung lokaler und regionaler Änderungen des Meeresspiegels (steric changes) und einen noch unsicheren Trend einer eustatischen Hebung.

Die Bearbeitung der Daten von TOPEX-POSEIDON durch Bosch et al. [9] lieferte für den Zeitraum von 1992.6 bis 2001.2 regionale Änderungen von +10 cm und mehr im nördlichen und im äquatornahen, von -10 cm und mehr im südlichen Pazifik. Ähnlich im Indischen Ozean und in den anderen Weltmeeren. Der versuchte Nachweis einer eustatischen Änderung zwischen Oktober 1992 und Jänner 2000 ergab einen Trend von +1.1 mm/J. Wieder zeigen die Beobachtungen auffällige Variationen mit einer Periode von etwa 400 Tagen und der Amplitude von rund 20 mm. Ursache unklar. Die Periode ist nicht weit von der Chandler-Periode der Polbewegung von 430 Tagen. Die Übereinstimmung der Trends von Klige (Kap. 3), der Pegelanalysen und der Altimetrie ist erstaunlich gut.

Im September 2004 fand eine ENVISAT-Tagung in Salzburg statt. Dort wurde von Messungen berichtet, die auf einen Anstieg von +3 mm/J schließen lassen. Interessanter Weise wurde dies zum Grossteil als Effekt der Erwärmung der oberen Wasserschichten, also als „steric change“, gedeutet. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen von TOPEX-POSEIDON und ENVISAT ist beträchtlich und bedarf einer Erklärung.

5. Geodätische Konsequenzen

Eustatische Änderungen des Meeresspiegels beeinflussen alle geometrischen und physikalischen Parameter der Erde auf folgende Weise:

- Ein Anstieg des Meeresspiegels wird durch Massentransport von den Kontinenten in die Ozeane verursacht (Temperatureffekt ausge-

nommen). Jede Massenverlagerung führt zu einer

- Änderung des Potential- und Schwerefeldes und damit zu einer Deformation der Niveauflächen (Geoid).
- Änderung der Trägheitsmomente des Erdkörpers. Die Trägheitsmomente bestimmen auch die dynamische Abplattung J_2 . Die Auswertung der Beobachtungen geodätischer Satelliten über die letzten 25 Jahre ergab eine Abnahme von $-2.8 \cdot 10^{-11}/\text{Jahr}$ [5].
- Änderung der Tageslänge (LOD). Wenn Wasser aus Eis der polnahen Gebieten in die Ozeane fließt, werden Massen in Äquatornähe verfrachtet. Das vergrößert das Trägheitsmoment um die Rotationsachse und verkleinert die Winkelgeschwindigkeit der Rotation, wegen der notwendigen Konstanz des Drehimpulses ($C \cdot \omega = \text{const}$). Damit wird der Tag länger. Der Effekt ist für einen empirischen Nachweis noch zu klein, vor allem aber von anderen, die Rotation beeinflussenden Faktoren, schwer zu trennen.
- Verschiebung des Erdschwerpunktes. Massenverlagerungen ändern die Lage des Schwerpunktes eines Körpers, genauer, die Position der Massen in Bezug auf den Schwerpunkt. Die Lage des Schwerpunktes im inertialen Raum bleibt erhalten, denn diese kann durch rein interne Vorgänge auf der Erde nicht beeinflusst werden. Nimmt man an, dass der Hauptbeitrag einer Hebung des Meeresspiegels aus der Antarktis käme (was nicht erwiesen ist!), so zeigen meine Berechnungen, dass die Verschiebung etwa in Richtung Bank Island ($\varphi = 74^\circ$, $\lambda = 125^\circ$ w. Gr.) erfolgen würde. Dadurch und wegen der abnehmenden Attraktion der grossen Eismassen würde die gedachte Meeresoberfläche (Geoid) in der Antarktis sogar sinken, obwohl global gesehen eine Hebung eintritt.
- Änderung aller GPS-bestimmten Koordinaten x , y , z . Die Koordinaten sind auf das Geozentrum bezogen. Bei dessen Verlagerung werden auch die Koordinaten geändert.
- Langfristige Änderung der Satellitenbahnen. Eine Änderung der Massenverteilung beeinflusst die Satellitenbahnen. So gering die Änderungen derzeit noch sind, durch kumulative Wirkung werden sich die Bahnen von erdnahen Satelliten ändern. Kommunikationssatelliten sind zu hoch über der Erde ($\sim 36\,000$ km) um merklich gestört zu werden.

Besonders wichtig für die Berechnung eustatischer Hebungen sind die lokal unterschiedlichen

Deformationen der Niveaulflächen. Sie hängen von der geographischen Verteilung des Eises und der Kontinente und aller verlagerten Massen ab. Das macht die Berechnungen so kompliziert und zeigt auch, dass die gleichartige Auswirkung eines eustatischen Anstiegs des Meeresspiegels auf alle Pegel und auf alle Teile der Ozeane *ausgeschlossen* ist.

6. Die Prognosen bis 2100

Die Klimaforscher stimmen darin überein, dass die Erwärmung fortschreiten wird, Meinungsverschiedenheiten gibt es nur über das Ausmaß. Könnte man plötzlich den gesamten anthropogenen CO_2 -Ausstoß stoppen, würde dies den Temperaturanstieg nur um 0.1°C vermindern. Die auf der Basis von Klimamodellen erstellte jüngste Prognose für das Meeressniveau zeigt *Abb. 8* [5].

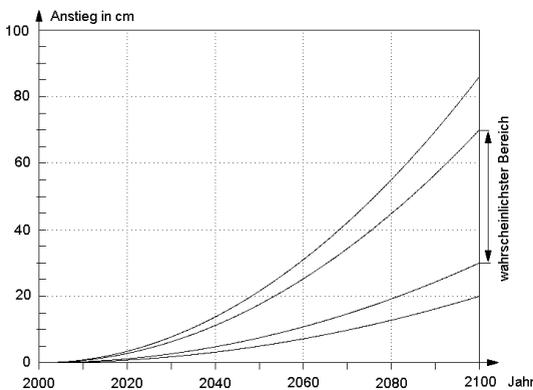


Abb. 8: Prognose für den Anstieg des Meeresspiegels bis 2100

Im günstigsten Fall wird der Meeresspiegel bis 2100 um 20 cm, im ungünstigsten um 86 cm steigen. Dazwischen liegt der wahrscheinlichste Bereich. Der Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) an die UNO 2001 kommt zum gleichen Schluss. Zuzufolge der Analyse aller Messungen, Pegel und Altimetrie, des vergangenen Jahrzehnts betrug der Anstieg in diesem Zeitraum $+2.8 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm pro Jahr}$ [5]. Berücksichtigt man die isostatische Landhebung, die das globale Niveau um -0.3 mm/J sinken lässt, betrug die Hebung sogar $+3.1 \text{ mm/J}$. Auch hier wird eine Grossteil des Anstiegs als „steric change“ (Temperatureffekt) gedeutet. In [5] findet man eine umfangreiche Literaturliste zu vielen Aspekten des Problems. Auch wird behauptet, die zahlreichen und immer größeren künstlichen Seen und Staubecken, wie zuletzt in China errichtet, wirkten einem Anstieg entgegen

(-0.3 mm/J). Abgesehen von dem fragwürdigen Betrag der Senkung, kann das wohl nur für die Aufstauphase gelten, denn sobald der Vollstau erreicht ist, muss das Wasser wieder abfließen.

Der Temperatureffekt bedarf noch einer näheren Untersuchung. Die Satellitenaufklärung ist nicht im Stande, die Wassertemperatur in 50 oder 100 m Tiefe zu messen. Zur Erfassung der Erwärmung der oberen Wasserschichten haben bisher Forschungs- und Handelsschiffe Messgeräte an Schlepplein nachgezogen. Um die Messreihen zeitlich und örtlich zu verdichten wurde das ARGO-Programm gestartet [5]. Durch mehrere Tausend frei treibende Messstationen sollen Temperatur und Salzgehalt besser erfasst werden.

Eine weitere Prognose betrifft die Ausdehnung des arktischen Packeises. Im November 2004 wurde in Reykjavik (Island) der Bericht des Arctic Climate Impact Assessments ACIA vorgestellt und eine Prognose für die Arktis erarbeitet. In *Abb. 9* ist die nördliche Polkappe mit der gegenwärtigen sommerlichen Packeisgrenze (Pfeile) und der für 2090 prognostizierten Grenze (schattierter Bereich) dargestellt.

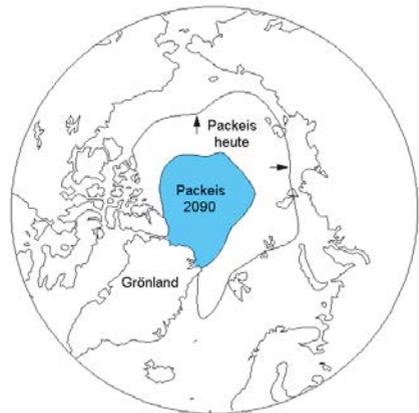


Abb. 9: Gegenwärtige Grenze des sommerlichen arktischen Packeises (Pfeile) und Prognose für 2090 (schattierter Bereich)

Auch diese Prognose steht im Widerspruch zu manchen Berichten von Tageszeitungen und Wochenmagazinen, denen zufolge das gesamte Packeis schon in wenigen Jahren verschwunden sein sollte und überdies den Meeresspiegel um mehrere Meter steigen liesse. Letztere Behauptung ist Unsinn, denn das Packeis schwimmt frei im arktischen Eismeer, sein Schmelzen würde, abgesehen von einem eventuellen Temperatureffekt, das Meeressniveau nicht beeinflussen.

In internationalen Klimakonferenzen werden die Folgen des Klimawandels für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft diskutiert, zuletzt so in Buenos Aires im Dezember 2004. Die Meinungen der Experten sind sehr widersprüchlich. Manche befürchten nur negative Auswirkungen der Erwärmung, andere sehen auch positive Effekte. Wenn z.B. die ausgedehnten Permafrostböden Sibiriens auftauen, kann sich der Wald nach Norden ausbreiten, was günstig wäre. Andererseits würde der Permafrostboden große Mengen des Treibhausgases Methan freigegeben. Das zurückweichende arktische Packeis könnte den Zugriff auf vermutete große Öl- und Gasvorkommen ermöglichen. Es wird in jedem Fall Gewinner und Verlierer geben. Der Anstieg des Meeresspiegels ist dabei das geringere Übel. Selbst im schlimmsten Fall, bei 86 cm Anstieg bis 2100, können rechtzeitig Schutzmassnahmen eingeleitet werden, entweder durch Errichtung von Dämmen oder Umsiedelung gefährdeter Bevölkerungen. Die oben genannten Südseeinseln müssen allerdings aufgegeben werden.

Es drohen aber ganz andere Gefahren, gegen die es keinen vorstellbaren Schutz gibt: Die allmähliche oder auch plötzliche Richtungsänderung der großen Meeresströme, und die Bedrohung aus dem Weltall. Westeuropa verdankt sein Klima dem Golfstrom. Mit der Bedrohung aus dem Weltall ist nicht eine utopische Invasion fremder Wesen gemeint, sondern die mögliche Kollision mit einem herumirrenden Himmelskörper. Die Erde wird pausenlos von meist harmlosen Meteoriten bombardiert, die entweder in der Atmosphäre verglühen oder auf der Erde landen. In der Vergangenheit gab es viele Einschläge größerer Massen, von denen tiefe Krater noch heute Zeugnis geben, wie z.B. der Arizona-Krater (Tiefe 170 m, Durchmesser 1200 m). Der letzte große derartige Impakt ereignete sich am 30. Juni 1908 im unbewohnten Gebiet der Tunguska (Sibirien). Impakt ist nicht ganz korrekt gesagt, hier gibt es keinen Krater, weil der Meteorit vermutlich in mehreren Kilometern Höhe über der Erde explodiert ist und die Wälder in weitem Umkreis zerstört hat.

Verfeinerte Beobachtungsmethoden (CCD-Kameras) haben zur Entdeckung von so genannten „near misses“ geführt, Himmelskörper, die der Erde nahe kommen. Am 30. Oktober 1937 zog der Asteroid Hermes (geschätzte Masse 500 000 t) nahe an der Erde vorbei [6]. Am 19. Jänner 1991 näherte sich der Asteroid 1991 BA (geschätzte Masse zwischen 100 und 2000 t) der Erde auf 170 000 km, d.i. weniger als die Hälfte der

Mondentfernung [10]. Am 29. September 2004 passierte der Kleinplanet (4179) Toutatis in nur vierfachem Mondabstand (etwa 1.5 Millionen km) die Erde [11]. Seine Ausmasse betragen $4.6 \text{ km} \times 2.4 \text{ km} \times 1.9 \text{ km}$ (!). Der Asteroid befindet sich auf einem die Erdbahn kreuzenden Orbit. Die nächste Annäherung wird zwar erst im Jahre 2562 eintreten, aber in ferner Zukunft ist ein Aufschlag auf der Erde nicht völlig ausgeschlossen. Vor wenigen Jahren konnte die Weltöffentlichkeit den spektakulären Einschlag eines Kometen auf dem Planeten Jupiter mit verfolgen. Noch vor Jahrzehnten wäre dieses Ereignis wahrscheinlich unentdeckt geblieben. Warum sollte die Erde in Zukunft von solchen Katastrophen verschont bleiben? Inzwischen wurde ein weltweites Netz von Beobachtungsstationen aufgebaut, um sich nähernde Himmelskörper rechtzeitig aufspüren zu können. Zur Abwehr der Bedrohung wird die Zerstörung durch Atombomben oder die Ablenkung durch landende Raketen diskutiert.

Prognosen zu erstellen, ist immer problematisch, die Zukunft ist prinzipiell nicht vorhersehbar. Dennoch sind sie notwendig, andernfalls wäre jegliche Planung unmöglich. Sie sollten nur nicht als apodiktisch verkauft und nicht alle Naturkatastrophen zu Folgen des Klimawandels erklärt werden.

Literatur

- [1] *Platon*: Timaios. Sämtliche Werke. 3. Bd. S. 100. Verlag Jakob Hegner, Köln, 1967.
- [2] *Schmutzer, E.*: Projektive Einheitliche Feldtheorie mit Anwendungen in Kosmologie und Astrophysik. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. M., 2004.
- [3] *Hoeppel, G.*: Projekt Epica. Sterne und Weltraum. 12/2004, S. 34 – 38.
- [4] *Israel, H.*: Einführung in die Geophysik. Springer, Berlin, 1969.
- [5] *Cazenave, A.; Nerem, R.S.*: Present-Day Sea Level Change: Observations and Causes. Review of Geophysics, 42/2004, RG3001, American Geophysical Union.
- [6] *Ager, D.*: The New Catastrophism. Cambridge, University Press, 1995.
- [7] *Roedel, W.*: Physik unserer Umwelt. Springer, Berlin, 1994.
- [8] *Emery, K.O.; Aubrey, D.G.*: Sea Levels, Land Levels, and Tide Gauges. Springer, New York, 1991.
- [9] Jahresbericht der Deutschen Geodätischen Kommission 2002, München 2003.
- [10] Sterne und Weltraum, 5/1991, S.284.
- [11] Sterne und Weltraum, 12/2004, S.51.

Anschrift des Autors

Dr. Kurt Bretterbauer: em. o. Univ. Prof. Institut für Geodäsie und Geophysik, TU Wien, Gusshausstrasse 27-29, A-1040 Wien. E-mail: kbretter@mars.hg.tuwien.ac.at



An Efficient Technique for Harmonic Analysis on a Spheroid (Ellipsoid and Sphere)

Hussein A. Abd-Elmotaal, Minia/Ägypten

Abstract

The paper presents an efficient technique for harmonic analysis on a spheroid (both sphere and ellipsoid). Colombo (1981) has introduced an effective and fast technique for the harmonic analysis on the sphere using Fast Fourier Technique FFT. It is known that there is no direct mathematical relationship to transform the point or/and mean gravitational observables from the surface of the mean earth's ellipsoid to the surface of the sphere. Hence, the paper introduces an efficient program HRCOFITR that uses essentially Colombo's main subroutines HARMIN and SSYNTH, after significant and critical modifications written by the author, in an iterative and scaling process for harmonic analysis on both the sphere and the ellipsoid. In order to check the performance of the proposed technique, two computational tests have been carried out. In the first test, two data fields on the ellipsoid have been created using OSU91A geopotential model. In the second test a data field on the sphere has been created using OSU91A geopotential model. In all cases, the harmonic coefficients have been analyzed using Colombo's technique as well as using the developed technique (HRCOFITR program). The results proved that the developed technique gives better accuracy for the estimated harmonic coefficients as well as for the residual field in all cases.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine leistungsfähige Methode zur harmonischen Analyse auf einem Sphäroid (Kugel wie auch Ellipsoid). Colombo (1981) hat erstmals einen effektiven und schnellen Algorithmus für die harmonische Analyse auf der Kugel unter der Verwendung der Fast Fourier Technik (FFT) vorgestellt. Bekannterweise existiert kein direkter mathematischer Zusammenhang, um Punkt und/oder Mittelwerte der Schwere von der Oberfläche eines mittleren Erdellipsoids auf die Oberfläche einer Kugel zu transformieren. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit ein leistungsfähiges Programm HRCOFITR, das wesentlich auf den beiden zentralen Unterprogrammen HARMIN und SSYNTH von Colombo aufbaut, vorgestellt. Die beiden Unterprogramme wurden kritisch untersucht und signifikant vom Autor modifiziert und in einen iterativen Skalierungsprozess zur harmonischen Analyse auf der Kugel und dem Ellipsoid verwendet. Um die Leistungsfähigkeit der verwendeten Methode zu zeigen, wurden zwei Tests durchgeführt. In einem ersten Test wurden zwei Datenfelder auf dem Ellipsoid unter Verwendung des Kugelfunktionsmodells OSU91A erstellt. In einem zweiten Test wurden ein Datensatz auf der Kugel mittels des Kugelfunktionsmodells OSU91A erstellt. In allen Fällen wurden die harmonischen Koeffizienten sowohl mit Hilfe von Colombos Technik, wie auch der neu entwickelten Technik (HRCOFITR Programm) analysiert. Die Ergebnisse zeigen das die neu entwickelte Methode sowohl für den Fall der geschätzten harmonischen Koeffizienten, wie auch für den Fall des Restfeldes, in allen Fällen eine bessere Genauigkeit liefert.

1. Introduction

A huge amount of global gravitational data became recently available. This has enhanced the resolution of the developed geopotential earth models. Basically, each gravitational observable gives a normal equation in terms of the unknown geopotential coefficients. Thus, we face a very huge system of normal equations, which needs a special technique of solving such a terrible Least-Squares problem using the relatively limited computer facilities. Colombo (1981) has introduced a very powerful method for harmonic analysis on the sphere using Fast Fourier Technique FFT.

Usually the gravitational data are collected on the surface of the earth and then reduced to the surface of the mean earth's ellipsoid (representing the only accepted spheroid to regenerate the potential of the earth), see, e.g., (Vanicek and

Krakiwsky, 1982). Unfortunately, no direct mathematical relationship exists to transform the point or/and mean gravitational observables from the surface of the mean earth's ellipsoid to the surface of the sphere. Hence, direct application of Colombo's FFT technique in practice seems to be impossible.

It should be noted that there exists some work done to transform the spherical to ellipsoidal harmonics (and vice versa), but not transforming the point or/and mean gravitational observable from the surface of the mean earth's ellipsoid to the surface of the sphere; see, e.g., (Petrovskaya and Verslikov, 2000; Petrovskaya et al., 2001; Blais and Provins, 2002; Grafarend et al., 1999).

The paper presents a technique that uses Colombo's main subroutines HARMIN and

SSYNTH, after significant and critical modifications implemented by the author, in an iterative and scaling process for the harmonic analysis of data on the surface of both the sphere and the ellipsoid. For the sake of checking the developed technique, two computational tests have been carried out. In the first test, two data fields on the ellipsoid have been created using the OSU91A geopotential model. In the second test a data field on the sphere has been created using the OSU91A geopotential model. In all cases, the harmonic coefficients have been analyzed using Colombo's technique as well as using the developed technique. A comparison between the computed coefficients and the OSU91A coefficients along with the residual field in each case has been made and widely discussed.

It should be noted that there exist some work done in the field of efficient computational techniques of spherical harmonics; see, e.g., (Driscoll and Healy, 1994; Mohlenkamp, 1999; Petrovskaya et al., 2001).

2. Spherical Harmonic Analysis

Let us consider an analytical function $f(\theta, \lambda)$ defined on the unit sphere ($0 \leq \theta \leq \pi$ and $0 \leq \lambda \leq 2\pi$). Expand $f(\theta, \lambda)$ in series of surface spherical harmonics (Moritz, 1980, p. 21)

$$f(\theta, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m \lambda + \bar{S}_{nm} \sin m \lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta), \quad (1)$$

where \bar{C}_{nm} and \bar{S}_{nm} are the fully normalized spherical harmonic coefficients and refers to the fully normalized associated Legendre functions. Let us introduce the abbreviations

$$\begin{aligned} \bar{R}_{nm}(\theta, \lambda) &= \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \cos m \lambda, \\ \bar{Q}_{nm}(\theta, \lambda) &= \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \sin m \lambda. \end{aligned} \quad (2)$$

It is well known that the fully $\bar{P}_{nm}(\cos \theta)$ normalized harmonic coefficients are orthogonal, i.e., they satisfy the orthogonality relations (Heiskanen and Moritz, 1967, p. 29–31)

$$\begin{aligned} \iint_{\sigma} \bar{R}_{nm}(\theta, \lambda) \bar{R}_{n'm'}(\theta, \lambda) d\sigma &= \\ \iint_{\sigma} \bar{Q}_{nm}(\theta, \lambda) \bar{Q}_{n'm'}(\theta, \lambda) d\sigma &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\iint_{\sigma} \bar{R}_{nm}(\theta, \lambda) \bar{Q}_{nm}(\theta, \lambda) d\sigma = 0, \quad (4)$$

$$\frac{1}{4\pi} \iint_{\sigma} \bar{R}_{nm}^2(\theta, \lambda) = \frac{1}{4\pi} \iint_{\sigma} \bar{Q}_{nm}^2(\theta, \lambda) = 1, \quad (5)$$

As a consequence of the orthogonality, the fully normalized harmonic coefficients \bar{C}_{nm} and \bar{S}_{nm} can be given by (ibid, p. 31)

$$\begin{aligned} \bar{C}_{nm} &= \frac{1}{4\pi} \iint_{\sigma} f(\theta, \lambda) \bar{R}_{nm}(\theta, \lambda) d\sigma, \\ \bar{S}_{nm} &= \frac{1}{4\pi} \iint_{\sigma} f(\theta, \lambda) \bar{Q}_{nm}(\theta, \lambda) d\sigma. \end{aligned} \quad (6)$$

In fact, (6) cannot be used in practice to compute the harmonic coefficients \bar{C}_{nm} and \bar{S}_{nm} simply because the analytical function $f(\theta, \lambda)$ is generally unavailable. Only a finite set of *noisy* measurements $f(\theta_i, \lambda_j)$, covering the whole sphere, might be available. Discretizing (6) on an equal angular grid covering the whole sphere gives the following quadrature formulas

$$\begin{aligned} \hat{C}_{nm} &= \frac{1}{4\pi} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(\theta_i, \lambda_j) \bar{R}_{nm}(\theta_i, \lambda_j) \Delta_{ij}, \\ \hat{S}_{nm} &= \frac{1}{4\pi} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(\theta_i, \lambda_j) \bar{Q}_{nm}(\theta_i, \lambda_j) \Delta_{ij}, \end{aligned} \quad (7)$$

where \hat{C}_{nm} and \hat{S}_{nm} are the estimate of \bar{C}_{nm} and \bar{S}_{nm} , respectively, Δ_{ij} indicates the segment area and N is the number of grids in the latitude direction. Expression (7) is used to compute the harmonic coefficients if the available data field is represented by a set of point values $f(\theta_i, \lambda_j)$. It should be noted that (7) is usually only an *approximation* due to the discretization effect of $f(\theta, \lambda)$.

The data field could be represented by area mean values $\bar{f}(\theta_i, \lambda_j)$. Expanding the area means $\bar{f}(\theta_i, \lambda_j)$ is done by integrating (1), term-by-term, which gives

$$\begin{aligned} \bar{f}(\theta_i, \lambda_j) &= \frac{1}{\Delta_{ij}} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \iint_{\sigma_{ij}} (\bar{C}_{nm} \cos m \lambda + \\ &\quad + \bar{S}_{nm} \sin m \lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta) d\sigma \\ &= \frac{1}{\Delta_{ij}} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \int_{\theta_i}^{\theta_i+\Delta\theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \sin \theta d\theta \cdot \\ &\quad \cdot \left(\bar{C}_{nm} \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \cos m \lambda d\lambda + \bar{S}_{nm} \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \sin m \lambda d\lambda \right) \end{aligned} \quad (8)$$

where $\bar{f}(\theta_i, \lambda_j)$ is the area mean of $f(\theta, \lambda)$ on the block σ_{ij} whose area is Δ_{ij} given by

$$\Delta_{ij} = \Delta\lambda[\cos \theta_i - \cos(\theta_i + \Delta\theta)]. \quad (9)$$

If the data field is represented by area means $\bar{f}(\theta_i, \lambda_j)$, expression analogous to (7) is proposed (Colombo, 1981, p. 4)

$$\hat{C}_{nm} = \mu_n \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{2N-1} \bar{f}(\theta_i, \lambda_j) \int_{\theta_i}^{\theta_i+\Delta\theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \sin \theta d\theta \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \cos m\lambda d\lambda, \quad (10)$$

$$\hat{S}_{nm} = \mu_n \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{2N-1} \bar{f}(\theta_i, \lambda_j) \int_{\theta_i}^{\theta_i+\Delta\theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \sin \theta d\theta \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \sin m\lambda d\lambda,$$

where μ_n denotes the de-smoothing factor. Colombo (1981) has used the following definition of the de-smoothing factor

$$\mu_n = \frac{1}{4\pi\eta_n} \quad (11)$$

with

$$\eta_n = \begin{cases} \beta_n^2 & \text{if } 0 \leq n \leq \frac{1}{3N} \\ \beta_n & \text{if } \frac{1}{3N} \leq n \leq N \\ 1 & \text{if } n > N \end{cases} \quad (12)$$

where β_n is known as the Pellinen smoothing factor of degree n given by (Meissl, 1971, p. 24)

$$\beta_n = \frac{1}{1 - \cos \psi_o} \frac{1}{2n + 1} [P_{n-1}(\cos \psi_o) - P_{n+1}(\cos \psi_o)] \quad (13)$$

with (Colombo, 1981, p. 85)

$$\cos \psi_o = \frac{\Delta\lambda}{2\pi} (\cos \theta_{i+1} - \cos \theta_i) + 1, \quad (14)$$

and $P_n(\cos \theta)$ is the Legendre polynomial. N appearing in (12) is the so-called Nyquist frequency (see below).

If all \bar{C}_{nm} and \bar{S}_{nm} are known till degree and order N_{max} , one can compute $\tilde{f}(\theta_i, \lambda_j)$ and $\tilde{\tilde{f}}(\theta_i, \lambda_j)$ as follows:

$$\tilde{f}(\theta_i, \lambda_j) = \sum_{n=0}^{N_{max}} \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda_j + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda_j) \bar{P}_{nm}(\cos \theta_i) \quad (15)$$

$$\tilde{\tilde{f}}(\theta_i, \lambda_j) = \frac{1}{\Delta_{ij}} \sum_{n=0}^{N_{max}} \sum_{m=0}^n \int_{\theta_i}^{\theta_i+\Delta\theta} \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \sin \theta d\theta \left(\bar{C}_{nm} \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \cos m\lambda d\lambda + \bar{S}_{nm} \int_{\lambda_j}^{\lambda_j+\Delta\lambda} \sin m\lambda d\lambda \right) \quad (16)$$

which can be regarded as an approximation to $f(\theta, \lambda)$ and $\bar{f}(\theta, \lambda)$, respectively, at point (θ_i, λ_j) . Expressions (15) and (16) define the object of spherical harmonic synthesis: given the coefficients, it is required to estimate the function.

The double summation appearing in (7) and (10) for harmonic analysis as well as in (15) and (16) for spherical harmonic synthesis are computed using FFT technique. Colombo (1981) has written two subroutines for this purpose, called HARMIN and SSYNTH.

It should be noted that there are two conditions, which should be satisfied to use FFT in harmonic analysis and synthesis. They are:

- The number of grid blocks of the data field should "stride" the equator, i.e., the grid should be symmetric with respect to the equator. In other words, N should always be even.
- The maximum recoverable degree N_{max} should be smaller than the Nyquist frequency N defined by

$$N = \frac{\pi}{\Delta\lambda}. \quad (17)$$

This follows Nyquist theorem stating: the Fourier coefficients of a function of period $2N \Delta\lambda$ can be recovered only if $N_{max} < N$ (Elliott and Rao, 1982, p. 38).

3. Spherical Harmonics Expansions of Gravitational Quantities

Let us review the computation of gravitational quantities from geopotential spherical harmonic models. The disturbing potential T can be expressed as (Rapp, 1982, p. 2)

$$T(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=2}^n (\bar{C}_{nm}^* \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta), \tag{18}$$

where GM is the geocentric gravitational constant, r is the geocentric radius, a stands for the equatorial radius of the mean earth's ellipsoid and \bar{C}_{nm}^* is the difference between the actual coefficients \bar{C}_{nm} and those implied by the reference equipotential ellipsoid \bar{C}_{nm}^u . Because of the rotational symmetry of the mean earth's ellipsoid, there will be only zonal terms. And because of the symmetry with respect to the equatorial plane, there will be only even zonal harmonics $\bar{C}_{2n,m}^u$ (Heiskanen and Moritz, 1967, p. 72). Then one may write the following relation \bar{C}_{nm}^* :

$$\begin{aligned} \bar{C}_n^* &= \bar{C}_n - \bar{C}_n^u & \text{if } m = 0, \\ \bar{C}_{nm}^* &= \bar{C}_{nm} & \text{if } m \neq 0. \end{aligned} \tag{19}$$

The gravity anomaly Δg can be expressed by (Torge, 1980, p. 155)

$$\Delta g(r, \theta, \lambda) = -\frac{\delta T}{\delta r} + \frac{1}{\gamma} \frac{\delta \gamma}{\delta r} T(r, \theta, \lambda), \tag{20}$$

where γ is the normal gravity. Using the spherical approximation, we may write (Heiskanen and Moritz, 1967, p. 87)

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\delta \gamma}{\delta r} = -\frac{2}{r}. \tag{21}$$

Then (20) becomes

$$\Delta g(r, \theta, \lambda) = -\frac{\delta T}{\delta r} - \frac{2}{r} T(r, \theta, \lambda). \tag{22}$$

Inserting (18) into (22)], one may write the following expression for computing the gravity anomalies from the geopotential coefficients

$$\begin{aligned} \Delta g(r, \theta, \lambda) &= \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \\ &\sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm}^* \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta). \end{aligned} \tag{23}$$

The height anomaly ζ can be given by the generalized Bruns formula as (Moritz, 1980, p. 353)

$$\zeta(r, \theta, \lambda) = \frac{T(r, \theta, \lambda)}{\gamma} \tag{24}$$

Inserting (18) into (24) gives

$$\begin{aligned} \zeta(r, \theta, \lambda) &= \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \\ &\sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm}^* \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \theta). \end{aligned} \tag{25}$$

It should be noted that (24) can also be used for the calculation of the geoid undulation N but with the evaluation of T on the surface of the geoid by an appropriate choice of r .

4. The Proposed Technique: Field on Ellipsoid

Colombo's (1981) technique (described above) can be used for computing the harmonic coefficients of a non-scaled field defined on the sphere using HARMIN subroutine. In practical geodetic applications the situation is quite different. Let us consider a field of gravitational observables (e.g., gravity anomalies) defined on the mean earth's ellipsoid and it is required to compute the nondimensional potential coefficients. As mentioned before there is no direct mathematical relationship to transform the point or/and mean gravitational observables from the surface of the mean earth's ellipsoid to the surface of the sphere. Accordingly Colombo's technique cannot be used directly to compute the required nondimensional potential coefficients.

The developed HRCOFITR program can be used if the point/mean data field is defined either on sphere or on ellipsoid. The data field may be a non-scaled field, a gravity anomaly field or a geoid undulation field. In this section, we will consider data filed on the ellipsoid. In the next section, data field on the sphere will be considered. The case of non-scaled field will not be given here in detail. It is left for the reader as a small exercise.

Let us consider that we have a field defined on the ellipsoid. The main idea of the proposed technique is as follows. Assume, wrongly, that the field is defined on the sphere, then compute the harmonic coefficients. These harmonic coefficients are considered as an approximation to the correct ones. Hence, compute the field on the ellipsoid, and compute the residual field (which is also on the ellipsoid). Assume, again wrongly, that the residual field is defined on the sphere to compute the residual harmonic coefficients. Add the residual harmonic coefficients to the previously obtained values of the harmonic coefficients, and use these new coefficients to compute the field, and hence the residual field, on the ellipsoid. Repeat this process iteratively till two

successive steps give practically the same harmonic coefficients.

Let us express the details of the proposed technique in the following steps:

1. Let us consider a field of gravitational observables (e.g., gravity anomalies) defined on the mean earth's ellipsoid. Assume, wrongly, that the data field is defined on the sphere. Using the modified HARMIN subroutine ((7) and (10)) compute the initial values of the non-scaled harmonic coefficients \bar{A}_{nm}° , \bar{B}_{nm}° . Note that within the modified HARMIN subroutine the computation of the Legendre functions (or their integrals in case of mean blocks data field) is done within the subroutine (instead of reading it from a file as the original version written by Colombo). This allows both very fast computation and saving of the disk space. The Legendre functions (or their integrals) are computed on the surface of the sphere, where the needed polar distance θ is computed by

$$\theta = 90^{\circ} - \phi. \quad (26)$$

2. Scale the computed non-scaled harmonic coefficients \bar{A}_{nm}° , \bar{B}_{nm}° depending on the data field characteristic to compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm}° , \bar{S}_{nm}° . If the data field l were gravity anomalies, the scaling is done using the following expression (see (23))

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^{\circ} \\ \bar{S}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\} = \frac{R^2}{GM} \frac{1}{n-1} \left(\frac{R}{a} \right)^n \left\{ \begin{array}{l} \bar{A}_{nm}^{\circ} \\ \bar{B}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\}, \quad (27)$$

where R is the radius of the mean earth's sphere. If the data field l were geoid undulations, the scaling is done using the following expression (cf. (25))

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^{\circ} \\ \bar{S}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\} = \frac{\gamma R}{GM} \left(\frac{R}{a} \right)^n \left\{ \begin{array}{l} \bar{A}_{nm}^{\circ} \\ \bar{B}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\}, \quad (28)$$

where γ is a mean value of normal gravity.

3. Use the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm}° , \bar{S}_{nm}° computed in the last step to create the computed field \hat{l} on the ellipsoid by the modified subroutine SSYNTH using (15) and (16). Note that within the modified SSYNTH subroutine the computation of the Legendre functions (or their integrals in case of mean blocks data field) is done within the subroutine (instead of reading it from a file as the original version written by Colombo). This again allows both very fast computation and

saving of the disk space. The Legendre functions (or their integrals) are computed on the surface of the ellipsoid, where the needed polar distance θ is computed by

$$\theta = 90^{\circ} - \psi, \quad (29)$$

where ψ is the geocentric latitude given by (Torge, 1980, p. 50)

$$\psi = \arctan[(1 - e^2) \tan \phi], \quad (30)$$

and e is the first eccentricity of the mean earth's ellipsoid. The modified subroutine SSYNTH automatically scales the computed field according to its characteristic. For gravity anomalies data field, the scaled field \hat{l} is computed from the non-scaled \tilde{l} , computed by the original expressions (15) and (16), using the following expression (cf. (23))

$$\hat{l} = \frac{GM}{r^2} (n-1) \left(\frac{a}{r} \right)^n \tilde{l}, \quad (31)$$

where r is the geocentric radius, given by

$$r = a \sqrt{\frac{1 - e^2(2 - e^2) \sin^2 \phi}{1 - e^2 \sin^2 \phi}}. \quad (32)$$

For the geoid undulation data field the scaled field \hat{l} is computed from the non-scaled field \tilde{l} using the following expression (cf. (25))

$$\hat{l} = \frac{GM}{\gamma_0 r} \left(\frac{a}{r} \right)^n \tilde{l}. \quad (33)$$

where γ_0 is the normal gravity on the surface of the ellipsoid given by (Heiskanen and Moritz, p. 76):

$$\gamma_0 = \gamma_e \frac{1 + k \sin^2 \phi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}, \quad (34)$$

where k is given by

$$k = \frac{(1-f)\gamma_p - \gamma_e}{\gamma_e}. \quad (35)$$

Here γ_e and γ_p stand for the normal gravity at the equator and the pole, respectively, and f stands for the flattening of the mean earth's ellipsoid.

4. Compute the residual field δl , which is already on the surface of the ellipsoid, by

$$\delta l = l - \hat{l}. \quad (36)$$

- To assure good and quick convergence of the iterative solution, it is recommended to scale the residual field δl obtaining a scaled residual field Δl by the expression

$$\Delta l = \left(\frac{r}{a}\right)^p \delta l, \quad (37)$$

where p is a factor computed empirically in such a way that it is decreased if the solution converges slowly. The factor p ranges between $2 N_{max}$, with an initial value of $p = N_{max}$.

- Assume that the scaled residual field is defined on the sphere. Compute the residual non-scaled harmonic coefficients $\delta \bar{A}_{nm}$, $\delta \bar{B}_{nm}$ using the modified HARMIN subroutine.
- Scale the computed non-scaled residual harmonic coefficients $\delta \bar{A}_{nm}$, $\delta \bar{B}_{nm}$ depending on the data field characteristic to compute the nondimensional potential harmonic coefficients $\delta \bar{C}_{nm}$, $\delta \bar{S}_{nm}$. For gravity anomalies data field, the scaling is done using the following expression (see (23))

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \frac{R^2}{GM} \frac{1}{n-1} \left(\frac{R}{a}\right)^n \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{A}_{nm} \\ \delta \bar{B}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (38)$$

For geoid undulations data field, the scaling is done using the following expression (cf. (25))

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \frac{\gamma R}{GM} \left(\frac{R}{a}\right)^n \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{A}_{nm} \\ \delta \bar{B}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (39)$$

- Compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} by

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^{\circ} \\ \bar{S}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (40)$$

- Use the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} , computed in the last step, to create a computed scaled field \tilde{l} (same as step 3).

- Repeat the steps 4, 5, 6 and 7.

- Compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} of the i -th iteration using their values in the preceding iteration and the residual nondimensional harmonic coefficients $\delta \bar{C}_{nm}$, $\delta \bar{S}_{nm}$ (computed from step 7) by

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}_i = \left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}_{i-1} + \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}, \quad (41)$$

where the subscripts i and $i - 1$ refer to the iteration steps.

- Repeat the steps 9, 10 and 11 until two successive iteration steps give practically the same harmonic coefficients, or alternatively, no practical change in the residual field between two successive iteration steps is happened.

5. The Proposed Technique: Field on Sphere

Let us consider that we have a field defined on the sphere. In the following, we list the steps of the developed technique in this case.

- Consider a field of gravitational observables l (e.g., gravity anomalies) defined on the sphere. Using the modified HARMIN subroutine ((7) and (10)) compute the initial values of the non-scaled harmonic coefficients \bar{A}_{nm}° , \bar{B}_{nm}° . The Legendre functions (or their integrals) are computed on the surface of the sphere, where the needed polar distance θ is computed by

$$\theta = 90^{\circ} - \phi. \quad (42)$$

It should be noted that \bar{A}_{nm}° , \bar{B}_{nm}° represent the output of Colombo's (1981) original HARMIN subroutine.

- Scale the computed non-scaled harmonic coefficients \bar{A}_{nm}° , \bar{B}_{nm}° depending on the data field characteristic to compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm}° , \bar{S}_{nm}° . If the data field l were gravity anomalies, the scaling is done using the following expression (see (23))

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^{\circ} \\ \bar{S}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\} = \frac{R^2}{GM} \frac{1}{n-1} \left\{ \begin{array}{l} \bar{A}_{nm}^{\circ} \\ \bar{B}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\}. \quad (43)$$

If the data field l were geoid undulations, the scaling is done using the following expression (cf. (25))

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^{\circ} \\ \bar{S}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\} = \frac{\gamma R}{GM} \left\{ \begin{array}{l} \bar{A}_{nm}^{\circ} \\ \bar{B}_{nm}^{\circ} \end{array} \right\}. \quad (44)$$

The coefficients \bar{C}_{nm}° , \bar{S}_{nm}° represent the *scaled* coefficients computed by Colombo's technique.

- Use the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm}° , \bar{S}_{nm}° computed in the last step to create the computed field \tilde{l} on the sphere by the modified subroutine SSYNTH using (15) and (16). The Legendre functions (or their integrals) are computed on the surface of the

sphere, where the needed polar distance is computed again by

$$\theta = 90^\circ - \phi. \quad (45)$$

The modified subroutine SSYNTH automatically scales the computed field according to its characteristic. For gravity anomalies data field, the scaled field \hat{l} is computed from the non-scaled field \tilde{l} , computed by the original expressions (15) and (16), using the following expression (cf. (23)).

$$\hat{l} = \frac{GM}{R^2}(n-1)\tilde{l}. \quad (46)$$

For the geoid undulation data field the scaled field \hat{l} is computed from the non-scaled field \tilde{l} using the following expression (cf. (25)).

$$\hat{l} = \frac{GM}{\gamma R}\tilde{l}. \quad (47)$$

4. Compute the residual field δl , which is already on the surface of the sphere, by

$$\delta l = l - \hat{l}. \quad (48)$$

Generally, according to the approximations involved in the FFT technique, the computed field \hat{l} does not coincide with the data field l , and hence the residual field δl is not zero. This is the reason of the iterative process in the case of data field on the sphere.

5. Compute the residual non-scaled harmonic coefficients $\delta \bar{A}_{nm}$, $\delta \bar{B}_{nm}$ corresponding to the residual field δl using the modified HARMIN subroutine.
6. Scale the computed non-scaled residual harmonic coefficients $\delta \bar{A}_{nm}$, $\delta \bar{B}_{nm}$ depending on the data field characteristic to compute the nondimensional potential harmonic coefficients $\delta \bar{C}_{nm}$, $\delta \bar{S}_{nm}$. For gravity anomalies data field, the scaling is done using the following expression (see (23))

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \frac{R^2}{GM} \frac{1}{n-1} \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{A}_{nm} \\ \delta \bar{B}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (49)$$

For geoid undulations data field, the scaling is done using the following expression (cf. (25))

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \frac{\gamma R}{GM} \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{A}_{nm} \\ \delta \bar{B}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (50)$$

7. Compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} by

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm}^o \\ \bar{S}_{nm}^o \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}. \quad (51)$$

8. Use the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} , computed in the last step, to create a computed scaled field \hat{l} (same as step 3).

9. Repeat the steps 4, 5 and 6.

10. Compute the nondimensional potential harmonic coefficients \bar{C}_{nm} , \bar{S}_{nm} of the i -th iteration using their values in the preceding iteration and the residual nondimensional harmonic coefficients $\delta \bar{C}_{nm}$, $\delta \bar{S}_{nm}$ (computed from step 6) by

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}_i = \left\{ \begin{array}{l} \bar{C}_{nm} \\ \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}_{i-1} + \left\{ \begin{array}{l} \delta \bar{C}_{nm} \\ \delta \bar{S}_{nm} \end{array} \right\}, \quad (52)$$

where the subscripts i and $i-1$ refer to the iteration steps.

11. Repeat the steps 8, 9 and 10 until two successive iteration steps give practically the same harmonic coefficients, or alternatively, no practical change in the residual field between two successive iteration steps has happened.

6. Numerical Tests

In order to examine the proposed technique, two computational tests were carried out. In the first test, the OSU91A geopotential model (Rapp et al., 1991) complete to degree and order 360 has been used to create two $30' \times 30'$ global data fields on the surface of the ellipsoid using the modified SSYNTH subroutine. The first field represents point gravity anomalies and the second field represents mean geoid undulations. The developed technique (HRCOFITR program) as well as Colombo's technique (modified HARMNIN subroutine) have been used to compute the nondimensional potential harmonic coefficients complete to degree and order 360 for both data fields.

Figure 1 shows the difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the point gravity anomaly data field defined on the ellipsoid. The solution needed 88 iterations performed in 37 minutes on a Pentium 300 MHz PC. It should be noted that the estimated zonal harmonics are defined in the zero tide system. Except the even zonal harmonics (which have errors in the order of $10^{-12} - 10^{-11}$) and the higher degree harmonics ($n > 300$) till order 120 (which have errors ranging between 10^{-15} and 10^{-11}), all other harmonics have practically zero error. This shows that the developed technique computed the harmonic coefficients with a relatively high accuracy. The residual field (data field created by OSU91A coefficients minus computed field created by estimated coefficients) ranges *only* between -0.74 mgal to 0.79 mgal with a zero mean and a standard deviation of 0.05 mgal (practically no residuals).

Figure 2 shows the difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by Colombo's technique for the point gravity anomaly data field defined on the ellipsoid. Figure 2 shows that all harmonic coefficients have significantly great errors having its maximum value in the order of 10^{-8} for the lower degrees decreasing slowly with the degree to a value in the order of 10^{-13} for higher degrees. The residual field ranges between -29 mgal to 15 mgal with a zero mean and a standard deviation of 1.8 mgal. This comes directly from the fact that Colombo's technique assumes that the field is defined on the *sphere*, which signals that Colombo's technique is not adequate to analyze data fields defined on the ellipsoid.

Figure 3 shows the difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the mean geoid undulation data field defined on the ellipsoid. The solution needed 172 iterations performed in 2.5 hours on Pentium 300 MHz PC. Except the even zonal harmonics for $n > 30$ (which have errors in the order of $10^{-15} - 10^{-12}$) and the higher degree harmonics ($n > 260$) till order 60 (which have errors ranging between 10^{-15} and 10^{-12}), all other harmonics have practically zero error. The residual field ranges *only* between -0.71 cm to 0.79 cm with a zero mean and a standard deviation of 0.04 cm (practically no residuals). This shows again the capability of the developed technique for estimating high accurate harmonic coefficients for fields defined on the surface of the ellipsoid.

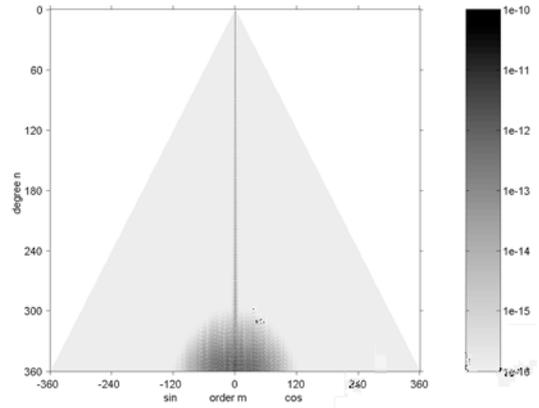


Fig. 1. Difference between OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the point gravity anomaly data field defined on the ellipsoid.

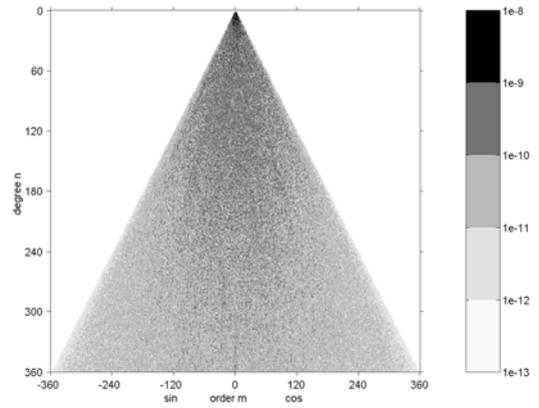


Fig. 2. Difference between OSU91A coefficients and the coefficients computed by Colombo's technique for the point gravity anomaly data field defined on the ellipsoid.

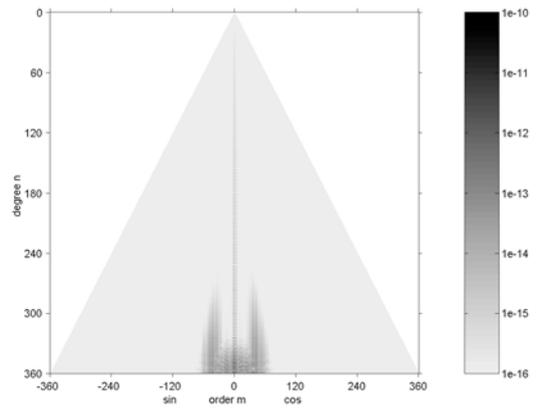


Fig. 3. Difference between OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the mean geoid undulation data field defined on the ellipsoid.

It should be noted that a similar conclusion for using Colombo's technique to estimate the harmonic coefficients for the mean geoid undulation data field has been made. The difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by Colombo's technique for the mean geoid undulation data field shows a graph completely similar to Fig. 2.

In the second test, the OSU91A geopotential model complete to degree and order 360 has been used to create a $30' \times 30'$ global point gravity anomaly data field on the surface of the mean earth's sphere using the modified SSYNTH subroutine. The developed technique (HRCOFITR program) as well as Colombo's technique (modified HARMNIN subroutine) have then been used to compute the nondimensional potential harmonic coefficients complete to degree and order 360.

Figure 4 shows the difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by Colombo's technique for the point gravity anomaly data field defined on the sphere. Figure 4 shows that only the zonal harmonics with a band of non-zonal harmonics, increases smoothly till $m = 50$ at $n = 360$, have significantly higher errors (ranging between 10^{-15} and 10^{-10}). All other harmonics have practically zero error. The residual field ranges between -6.78 mgal to 4.55 mgal with a zero mean and a standard deviation of 0.43 mgal. The significantly high errors appearing here are due to the approximations involved in the FFT technique.

Figure 5 shows the difference between the OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the point gravity anomaly data field defined on the sphere. The solution needed 120 iterations performed in 40 minutes on a Pentium 300 MHz PC. Figure 5 shows that only the zonal harmonics with a very narrow band of non-zonal harmonics, increases linearly till $m = 12$ at $n = 360$, have slightly higher errors (ranging between 10^{-15} and 10^{-11}). All other harmonic coefficients have practically zero error. The residual field ranges *only* between -0.41 mgal to 0.41 mgal with a zero mean and a standard deviation of 0.08 mgal (practically no residuals). This shows that using the developed technique improves the accuracy of the estimated harmonic coefficients even if the field is defined on the sphere.

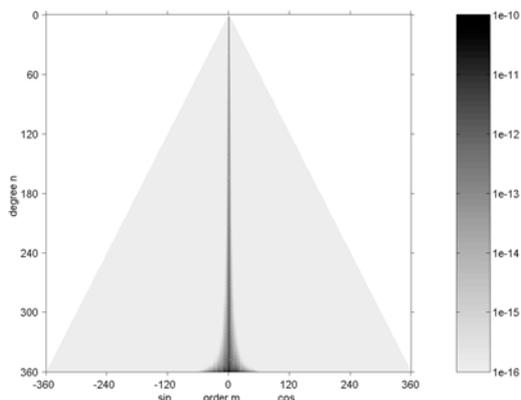


Fig. 4. Difference between OSU91A coefficients and the coefficients computed by Colombo's technique for the point gravity anomaly data field defined on the sphere.

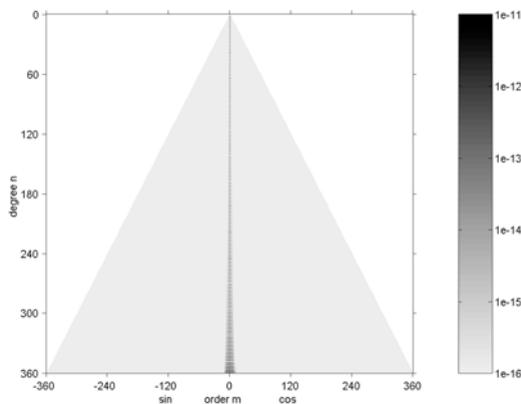


Fig. 5. Difference between OSU91A coefficients and the coefficients computed by the developed technique for the point gravity anomaly data field defined on the sphere.

7. Conclusion

The paper presents an efficient technique for harmonic analysis on a spheroid (both the sphere and the ellipsoid). The main idea of the proposed technique, implemented in the HRCOFITR program, is performed using Colombo's (1981) main subroutines HARMIN and SSYNTH (using FFT technique for harmonic analysis and synthesis on the sphere), after significant and critical modifications implemented by the author, in an iterative and scaling process for harmonic analysis on both the sphere and the ellipsoid. In order to examine the developed technique, two computational tests have been carried out. In the first test, two data fields on the ellipsoid have been created using

OSU91A geopotential model. In the second test a data field on the sphere has been created using OSU91A geopotential model. In all cases, the harmonic coefficients have been analyzed using Colombo's technique as well as using the developed technique. The results proved that the developed technique gives always better accuracy for the estimated harmonic coefficients as well as for the residual field. The results also show that using the developed technique improves the accuracy of the estimated harmonic coefficients even if the field is defined on the sphere. This is due to the approximations involved in the FFT technique used in Colombo's technique.

References

- [1] *Blais, J. and Provins, D., 2002: Spherical Harmonic Analysis and Synthesis for Global Multiresolution Applications. Journal of Geodesy, 76: 29–35.*
- [2] *Colombo, O., 1981: Numerical Methods for Harmonic Analysis on the Sphere. OSU Report No. 310, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. 129 pages.*
- [3] *Driscoll, J.R. and Healy, D.M., 1994: Computing Fourier Transforms and Convolutions on a 2-D Sphere. Advanced Applied Mathematics, 15: 202–250.*
- [4] *Elliott, D. and Rao, K.R., 1982: Fast Transforms: Algorithms, Analysis, Applications. Academic Press. 488 pages.*
- [5] *Grafarend, E.W., Ardalan, A. and Sideris, M.G., 1999: The Ellipsoidal Fixed-Free Two-Boundary Value Problem for Geoid Determination (the Spheroidal Bruns' Transform). Journal of Geodesy, 73: 513–533.*
- [6] *Heiskanen, W.A. and Moritz, H., 1967: Physical Geodesy. Freeman, San Francisco. 364 pages.*
- [7] *Jekeli, C., 1988: The Exact Transformation Between Ellipsoidal and Spherical Harmonic Expansions. Manuscripta Geodaetica, 13 (2): 106–113.*
- [8] *Meissl, P. 1971: A Study of Covariance Functions Related to the Earth's Disturbing Potential. OSU Report No. 151, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. 87 pages.*
- [9] *Mohlenkamp, M.J., 1999: A Fast Transform for Spherical Harmonics. Journal of Fourier Analysis Applications, 5 (2/3): 159–184.*
- [10] *Moritz, H., 1980: Advanced Physical Geodesy. Herbert Wichmann, Karlsruhe. 129 pages.*
- [11] *Petrovskaya, M.S. and Vershikov, A.N. 2000: Simplified Relations Between the Ellipsoidal and Spherical Harmonic Coefficients of the External Earth's Potential. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 59 (I): 57–72.*
- [12] *Petrovskaya, M.S., Vershikov, A.N. and Pavlis, N.K., 2001: New Analytical and Numerical Approaches for Geopotential Modelling. Journal of Geodesy, 75: 661–672.*
- [13] *Rapp, R.H., 1982: A Fortran Program for the Computation of Gravimetric Quantities From High Degree Spherical Harmonic Expansions. OSU Report No. 334, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. 23 pages.*
- [14] *Rapp, R.H., Wang, Y.M. and Pavlis, N.K., 1991: The Ohio State 1991 Geopotential and Sea Surface Topography Harmonic Coefficient Models. OSU Report No. 410, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. 94 pages.*
- [15] *Torge, W., 1980: Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin, New York. 254 pages.*
- [16] *Vanicek, P. and Krakiwsky, E., 1982: Geodesy: The Concepts. The North-Holland Publishing Company, The Netherlands. 691 pages.*

Address of the author

Hussein A. Abd-Elmotaal: Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Minia University, Minia 61111, Egypt.
email: abdelmotaal@lycos.com 



Allgegenwärtige Positionierungsmethoden für Moderne und Intelligente Navigationssysteme und -dienste

Günther Retscher, Wien

Kurzfassung

In den letzten Jahren wurden neue Positionierungsverfahren entwickelt, die in vermehrten Ausmaß in modernen Navigationssystemen zur Unterstützung von satellitengestützten Navigationsverfahren (GNSS) und der weit verbreiteten Koppelnavigation zum Einsatz kommen. Dabei liefern diese Methoden unterschiedliche Genauigkeiten für die Ortsbestimmung. Ihre Integration in moderne intelligente Navigationssysteme führt zu einer erheblichen Leistungssteigerung für die Positionsbestimmung in Gebieten mit schlechter Satellitenverfügbarkeit (z.B. im Stadtgebiet, Übergang in Gebäude und andere abgeschattete Gebiete, etc.). In diesem Beitrag werden diese Positionierungsverfahren kurz vorgestellt und beschrieben. Diese Positionierungsverfahren bilden auch die Basis für viele ortsbezogene Dienste, die sog. Location Based Services (LBS).

Abstract

In the last years new positioning methods have been developed which can be employed in modern intelligent navigation systems for augmentation of satellite positioning (GNSS) and dead reckoning (DR). These methods deliver different levels of positioning accuracies for the location determination. Due to their integration in modern intelligent navigation systems a high increase in performance for areas with bad satellite visibility (e.g. in urban canyons, transition from outdoor to indoor) can be achieved. The positioning methods can also be employed in location-based services (LBS).

1. Einleitung

Die Kombination und Integration verschiedener Positionierungsverfahren ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit moderner, intelligenter Navigationssysteme und -dienste. Handelsübliche Systeme setzen jedoch hauptsächlich auf die satellitengestützte Positionierung (GNSS) für die absolute Positionsbestimmung. Signalverluste werden in der Regel mit der Koppelnavigation mittels relativer Positionsbestimmung überbrückt. Bei längeren Signalunterbrechungen entstehen jedoch größere Positionierungsfehler, da die relativen Sensoren ziemlich stark driften und eine ungünstige Fehlerfortpflanzung aufweisen. Dieser Umstand ist mit ein Hauptgrund, dass in moderne, intelligente Navigationssysteme eine Integration von zusätzlichen Sensoren und Positionierungsverfahren vorgenommen werden soll. Des weiteren ist eine Alternative zur Positionierung mittels GNSS gewünscht, damit auch eine kontinuierliche Ortung des Nutzers im Stadtgebiet und in Bereichen mit starken Abschattungen der Satellitensignale sowie in Gebäuden möglich wird. Nutzbare, alternative Positionierungsverfahren sind z.B. die Methoden zur Lokalisierung von Mobiltelefonen, die Nutzung von WLAN (Wireless Local Area Networks), UWB (Ultra Wide Band), RFID (Radio Frequency Identification) sowie Bluetooth. Nach Pahlavan et al. (2002) können dabei zwei verschiedene

Strategien unterschieden werden, wobei im ersten Fall ein eigenes Funknetz aufgebaut wird, dass für die Positionierung eingesetzt werden kann, und bei der zweiten Methode bereits bestehende Netzwerkinfrastruktur zur Positionierung eines mobilen Nutzers genutzt wird. Die zweite Methode hat demnach den Vorteil, dass kein eigenes Funknetz aufgebaut werden muss. Einige dieser Verfahren wurden speziell für die Positionsbestimmung in Gebäuden entwickelt. Sie können aber auch im Übergangsbereich in der Nähe von Gebäuden sowie im Stadtgebiet eingesetzt werden. Das Prinzip dieser Verfahren wird im folgenden beschrieben. Ihre Anwendung finden diese Methoden teilweise in dem Forschungsprojekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld), dass sich mit der Führung von Besuchern der Technischen Universität Wien von in der Nähe befindlichen Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs zu Büros und Personen der Universität beschäftigt (Gartner et al. 2004). Dabei wird ein mobiles Navigationssystem eingesetzt, dass aus verschiedenen Sensoren besteht. Neben GNSS kommen noch WLAN und RFID Positionierung, die Positionsbestimmung mit Mobiltelefonen, die Koppelnavigation zur Messung der Richtung und des zurückgelegten Weges über einen digitalen Kompass, Kreisel und Beschleunigungssensoren zur Schritterkennung sowie ein Barometer zur Höhenbestimmung zum Einsatz.

2. Überblick über alternative Positionierungsverfahren für die Navigation

Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Positionierungsverfahren und Sensoren für moderne, intelligente Navigationssysteme und -dienste sowie deren Beobachtungen und erreichbaren Genauigkeit.

Positionierungsverfahren		Beobachtungen	Genauigkeiten
GNSS	GPS	y, x, z	$\pm 6 - 10$ m
	DGPS		$\pm 1 - 4$ m
Geschwindigkeit von GNSS		$v_y, v_x,$ v_z	$\sim \pm 0,05 \text{ m}^{-1}$ $\sim \pm 0,2 \text{ m}^{-1}$
Positionierung mit Mobiltelefon (GSM)	Cell ID	y, x	$\pm 150 \text{ m} - 35 \text{ km}$
	Solo Matrix		$\pm 50 - 100$ m
WLAN Positionierung	IMST ipos	y, x, z	$\pm 1 - 3$ m
UWB Positionierung (TDoA)		y, x, z	$\pm 0.2 - 1$ m
RFID Positionierung (Active Landmarks)		y, x, z	$< \pm 6$ m
Bluetooth (Active Landmarks)		y, x, z	± 10 m
Inertiale Navigationssysteme (INS)	Crossbow IMU700CA-200 Inertial Measurement Unit	a_x, a_y, a_z φ, ψ, θ	$< \pm 0.08 \text{ ms}^{-2}$ $< \pm 0.03^\circ/\text{s}$
Koppelnavigation	PointResearch DRM-III Dead Reckoning Module	y, x z φ	$\pm 20 - 50$ m per 1 km ± 3 m $\pm 1^\circ$
Richtung	Honeywell Compass Module HMR 3000	φ	$\pm 0.5^\circ$
Beschleunigung	Crossbow Accelerometer CXTD02	$a_{\text{tan}}, a_{\text{rad}}, a_z$	$> \pm 0.03 \text{ ms}^{-2}$
Barometer	Vaisala Pressure sensor PTB220A	z	$\pm 1 - 3$ m

Tabelle 1: Positionierungsverfahren für Navigationssysteme und -dienste sowie deren Beobachtungen und erreichbaren Genauigkeiten (Genauigkeitsangaben aus Duffett-Smith and Craig 2004, Imst 2004, Kong et al. 2004, Chon et al. 2004, Crossbow 2004a, PointResearch 2004, Honeywell 2004, Crossbow 2004b, Vaisala 2004) wobei y, x, z die 3D-Koordinaten der aktuellen Position des Nutzers, v_y, v_x, v_z die Geschwindigkeiten, a_x, a_y, a_z die Beschleunigungen, a_{tan} die Tangentialbeschleunigung und a_{rad} die radiale Beschleunigung in der xy-Ebene sind, φ die Richtung (Orientierung) des Nutzers in der xy-Ebene, ψ die Längsneigung und θ die Querneigung ist.

2.1 Lokalisierung von Mobiltelefonen

Für die Lokalisierung von Mobiltelefonen wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt, die teilweise auf klassischen, terrestrischen Navigationsverfahren beruhen. Ihr Prinzip wurde z.B. in Retscher (2002) eingehend beschrieben. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit hängt im wesentlichen von der verwendeten Methoden und dem Mobilfunknetz (GSM, W-CDMA, UMTS) ab. Höchste Genauigkeiten können mit dem Hyperbelschnittverfahren, dem sog. Enhanced Observed Time Difference (E-OTD), erzielt werden, bei dem Laufzeitdifferenzen von Signalen von Basisstationen zwischen der Mobilstation und einer Referenzstation im Netzwerk, der sog. Location Measurement Unit (LMU), bestimmt werden. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit liegt im Bereich von 50 bis 150 m, wobei Messungen zu mindestens 3 Basisstationen auszuführen sind. Liegen diese Messungen nicht vor, so kann eine Positionierung nur durch Angabe der Mobilfunkzelle (Cell ID), in der sich der Nutzer gerade befindet, erfolgen. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit reduziert sich dann auf 150 m bis 1 km im Stadtgebiet und bis zu 35 km in ländlichen Gebieten.

Da E-OTD eine Modifikation der Hardware des Mobilfunknetzes und die Installation von vielen Referenzstationen (eine LMU für jeweils 3 bis 5 Basisstationen) erfordert, was hohe Kosten für die Netzbetreiber zur Folge hat, wurde dieses Verfahren weltweit erst in wenigen Ländern verwirklicht. Neuere Entwicklungen haben sich daher auf die Reduktion der Kosten und notwendigen Hardware konzentriert. Die sog. Matrix Methode kommt ohne zusätzliche Hardware und LMU's aus (siehe Abbildung 1). Es wird lediglich ein Serving Mobile Location Centre (SMLC) benötigt, in dem die Position des Nutzer bestimmt wird (siehe Duffett-Smith und Craig 2004). In diesem Fall wird im Mobiltelefon ein Softwareupdate installiert. Das Telefon misst die relative Empfangszeit von Signalen verschiedener Basisstationen in seiner näheren Umgebung. Diese Zeitmessungen werden vom SMLC regelmäßig von anonymen Mobiltelefonen angefordert. Aus diesen Messungen können die Abweichungen der Sendezeitpunkte der Basisstationen von der Systemzeit (die sog. „Network Timings“) berechnet werden. Wenn nun ein bestimmtes Mobiltelefon lokalisiert werden soll, so werden im Handset die relativen Empfangszeiten der Signale gemessen und der Matrix Locator im SMLC berechnet mit diesen Messungen und den Network Timings die aktuelle Position des Tele-

fons. Da die Messungen nicht simultan erfolgen müssen, können anstelle der Messungen von anonymen Handsets auch die Messungen eines einzelnen, bewegten Telefons verwendet werden. Dies wird auch als Solo Matrix bezeichnet. Dann werden die Zeitmessungen an verschiedenen Positionen des Mobiltelefons dazu genutzt, um das Network Timing Model zu berechnen, und die Messung an der aktuellen Position, um diesen Ort zu bestimmen. Es ist weiters möglich, aus allen Messungen in einem Berechnungsschritte alle Positionen des Mobiltelefons zu bestimmen, und man erhält somit die Trajektorie des bewegten Telefons. Die erreichbare Positionierungsgenauigkeit der Matrix Methode entspricht dem E-OTD Verfahren und es konnten Genauigkeiten im Bereich von 50 bis 100 m bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % im GSM Netzwerk bei verschiedenen Tests erzielt werden. Eine Kombination von Matrix mit der Satellitenpositionierung wird als Enhanced GPS (E-GPS) bezeichnet. In diesem Fall ist im Telefon sowohl ein GPS Empfänger eingebaut als auch die Solo Matrix Funktion integriert. Wie beim gebräuchlichen Verfahren des Assisted GPS (A-GPS) stellt die Matrix Funktion Hilfsdaten, wie Näherungskordinaten und Zeitinformationen, für die GPS Positionierung zur Verfügung. Damit kann die Zeit für die Satellitenakquisition reduziert und die Reichweite von GPS erhöht werden.

2.2 Positionsbestimmung mit WLAN

Neben dem Mobiltelefon gewann der Einsatz von WLAN (Wireless Local Area Networks) in den letzten Jahren an großer Bedeutung. WLAN verwendet Funksignale, die auf dem internationalen Standard IEEE 802.11 des Instituts of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) basieren (siehe z.B. Schill 2004). In einem WLAN Netz gibt es sog. Access Points (oder Hotspots), die vergleichbar mit den Basisstationen in einem Mobilfunknetz sind. Der Nutzer kann mit Hilfe verschiedener Verfahren geortet werden. Als Messgröße eignet sich der Signalpegel der Funksignale, die von verschiedenen Access Points empfangen werden. Aus der Signalstärkemessung kann eine Distanz zwischen dem Access Point und der aktuellen Position des Nutzers abgeleitet werden und über Trilateration der Ort des Nutzers bestimmt werden (siehe z.B. Bastisch et al. 2003). Dieses Verfahren hat jedoch den großen Nachteil, dass die gemessenen Signalpegel der Funksignale nicht einfach in eine Strecke umgerechnet werden können, da die Pegel nicht nur in Abhängigkeit von der Distanz

zum Access Point abnehmen, sondern sehr stark von Multipath und anderen Fehlereinflüssen im Gebäude abgeschwächt werden (siehe Abbildung 2). Wie aus der Abbildung 2 ersichtlich ist, nimmt die Signalstärke nicht nur hinter Wänden stark ab, sondern sie kann auch bei freier Ausbreitung der Strahlen stark abnehmen. Die Signalstärke ist also nicht ausschließlich streckenabhängig und es entstehen auch bei freier Ausbreitung Signalstärkemuster, die nicht ohne weiteres erklärbar sind.

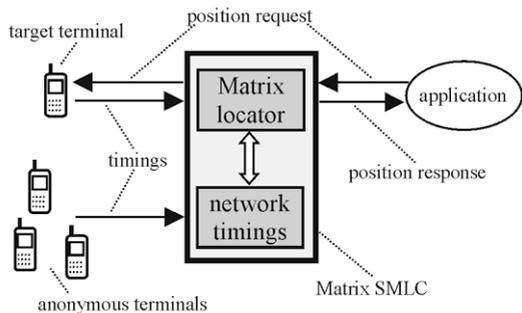


Abb. 1: Prinzip der Matrix Methode zur Lokalisierung von Mobiltelefonen (nach Duffett-Smith und Craig 2004)

Diese Nachteile treten bei dem sog. Fingerprint-Verfahren nicht auf, bei dem die gemessenen Signalpegel direkt für die Positionsbestimmung herangezogen werden (siehe Abbildung 3). Hier werden die gemessenen Signalstärken zu den Access Points nicht in Distanzen umgerechnet, sondern die Messwerte werden mit Signalpegelwerten von Kalibrierungspunkten, die in einer Datenbank gespeichert sind, verglichen, um die aktuelle Position des Nutzers abzuleiten. Für die Positionsbestimmung in einem Gebäude muss vorerst die Datenbank aufgebaut werden und es müssen dazu Kalibrierungsmessungen im gesamten Gebäude ausgeführt werden, damit festgestellt werden kann, in welchem Raum sich der Benutzer gerade befindet. Da die aktuell gemessenen Signalstärken und die in der Datenbank gespeicherten Werte in der Praxis nicht identisch sind, erfolgt die Zuweisung der Position durch Zuhilfenahme statistischer Kenngrößen. Verbunden mit einer Postprocessing Bearbeitung zur Ermittlung der wahrscheinlichsten Position reicht für diese Methode als Minimalkonfiguration die Messung zu einem Access Point aus. Von der Fa. IMST werden 1 bis 3 m als erreichbare Genauigkeit für die Positionierung in einem Testgebäude angegeben (Imst 2004). Der große Vorteil von diesem Verfahren ist die wesentlich

höhere Positionierungsgenauigkeit im Vergleich zur Signalstärkemessung mit Distanzbestimmung. Der Einrichtungsaufwand (Kalibrierung des Messsystems) ist allerdings sehr groß und bei baulichen Veränderungen müssen neue Referenzen in der Datenbank hinterlegt werden (Retscher und Thienelt 2004).

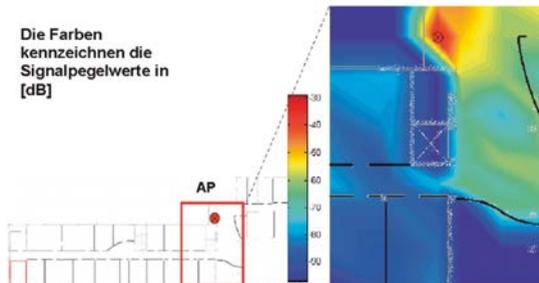


Abb. 2: Verteilung der Signalstärke in einem Bürogebäude der Fa. IMST für die Signalstärkemessungen von einem Access Point AP (nach Imst, 2004)

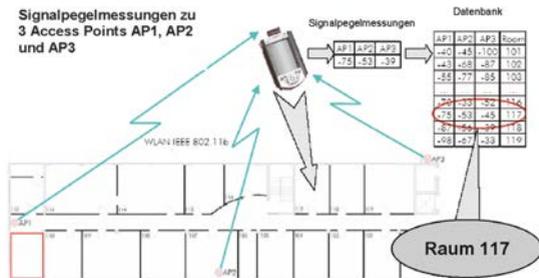


Abb. 3: Prinzip des Fingerprint-Verfahrens zur Positionsbestimmung in einem WLAN Netzwerk mit drei sichtbaren Access Points (nach Imst, 2004)

2.3 Positionsbestimmung mit UWB

Ultra Wideband (UWB) Systeme, welche Bandweiten über 1 GHz einsetzen, wurden zur Datenübertragung mit hohen Übertragungsgeschwindigkeiten entwickelt und unter IEEE 802.15.3a standardisiert. Diese können zur genauen Laufzeitmessung (Time of Arrival ToA) oder Laufzeitdifferenzmessung (Time Difference of Arrival TDoA) von Signalen mehrerer Basisstationen für die Positionsbestimmung in Gebäuden eingesetzt werden (Pahlavan et al. 2002, Kong et al. 2004). Im Gegensatz zu WLAN konnte gezeigt werden, dass UWB Signale nicht von Multipath beeinträchtigt werden und sich somit besonders zur Distanzmessung in Gebäuden eignen (Win and Scholtz 1998). Kong et al. (2004) konnte Positionierungsgenauigkeiten im Bereich

von 0.2 to 1 m bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 67 % für die Positionierung in einem Bürogebäude mit Messungen zu 8 Basisstationen erreichen.

2.4 Positionsbestimmung mit RFID

Radio Frequency Identification (RFID) wird in der Konsumgüterindustrie für die berührungslose Übertragung von Produktinformationen eingesetzt und wird in Zukunft höchstwahrscheinlich den Strichcode zur Produktidentifikation ersetzen. Prinzipiell besteht die RFID Technologie aus drei Komponenten, nämlich einem Transponder (oder Tag), dem Lesegerät und einer Antenne (siehe z.B. Finkenzeller 2002). Das Lesegerät kann die auf dem Tag gespeicherten Informationen lesen, wobei die Reichweite bei maximal 6 m im Falle von Tags mit eigener Stromversorgung liegt. Um RFID für die Positionierung einzusetzen, besteht die Möglichkeit die Umwelt mit RFID Tags auszustatten, auf denen der Ort gespeichert ist, und dem mobilen Nutzer ein Lesegerät samt Antenne zur Verfügung zu stellen. Möchte man RFID z.B. in der Fahrzeugnavigation einsetzen, so kann man RFID Tags entlang von Straßenabschnitten anbringen, in denen keine Positionierung mit GNSS möglich ist (z.B. im Tunnel, unter Brücken, etc.), und das Fahrzeug mit einem RFID Lesegerät und Antenne ausstatten (Chon et al. 2004). Wenn das Fahrzeug einen RFID Tag passiert, so wird seine Kennung und zusätzliche Informationen über den Tag gelesen und man weiß somit, wo man sich gerade befindet. Dabei kann der Tag bei Fahrzeuggeschwindigkeiten bis zu 150 km/h zuverlässig gelesen werden. Eine weitere Anwendung wäre die Fußgängernavigation, wenn bestimmte Sehenswürdigkeiten (Landmarks bzw. Points of Interest) mit RFID Tags ausgestattet werden und diese zur Positionsbestimmung herangezogen werden. Dies führt zum Konzept der sog. Aktiven Landmarks (siehe Brunner-Friedrich 2004), wo der Nutzer eines Navigationssystems mit Hilfe seiner „smarten“ Umgebung seinen aktuellen Aufenthaltsort bestimmt.

2.5 Positionsbestimmung mit Bluetooth

Bluetooth, das ursprünglich zur Datenübertragung über kurze Reichweiten (maximal 10 m) entwickelt wurde, kann auch für die Positionierung eingesetzt werden, wenn es ausreicht, den Ort des Nutzers durch eine Zelle mit einem Radius von 10 m zu beschreiben, wenn er sich gerade im Empfangsbereich eines Bluetooth Senders befindet. Aktive Landmarks können z.B. mit Blue-

tooth Sendern ausgestattet werden und der Nutzer hat ein mobiles Endgerät mit Bluetooth. Betritt der Nutzer nun den Empfangsbereich des Senders wird eine Verbindung hergestellt und er erhält die Koordinaten des Landmarks übermittelt (Brunner-Friedrich 2004).

2.6 Weitere Verfahren zur Positionsbestimmung in Gebäuden

Für die Positionsbestimmung in Gebäuden wurden noch andere Methoden entwickelt, wobei einige dieser Verfahren Transponder oder Sender nutzen, die im Gebäude installiert sind oder vom Nutzer getragen werden. Das sog. Active Badge System verwendet Infrarotsender (die sog. Active Badges), die jeweils von einer Person getragen werden und in regelmäßigen Zeitabständen einen eindeutigen Infrarotimpuls aussenden, der von Infrarotsensoren, die im Gebäude installiert sind, empfangen wird. Somit kann festgestellt werden, in welchem Raum eines Gebäudes sich der Nutzer gerade aufhält. Eine Umkehrung des Konzepts ist auch möglich, wobei nun die Infrarotsender im Gebäude installiert werden und der Nutzer einen Infrarotsensor trägt. Die Bestimmung der Position des Nutzers muss dann von einem mobile Computer übernommen werden. Anstelle von Infrarot kann auch Ultraschall für die Positionierung eingesetzt werden. Beim sog. Active Bat System trägt der Nutzer einen Ultraschallsender (sog. Bat), der auf Anforderung einen kurzen Ultraschallimpuls aussendet. Dieser wird von Empfängern, die im Gebäude in einem regelmäßigen Raster im Plafond installiert sind, empfangen und es wird die Laufzeit des Impulses bestimmt. In einem Server wird dann die momentane Position des Nutzers berechnet (Roth 2004). Eine weitere Möglichkeit sind visuelle oder optische Trackingverfahren, bei denen spezielle Zielmarken im Gebäude angebracht werden, die zur Navigation und Positionsbestimmung des Nutzers eingesetzt werden (siehe z.B. Newman et al. 2004).

Neue Entwicklungen im Bereich der Satellitenpositionierung haben auch GPS Empfänger hervorgebracht, die in der Lage sind, auch sehr schwache GPS Signale in Gebäuden zu empfangen. Dies wird auch als „High Sensitive“ GPS (HSGPS) bezeichnet. Untersuchungen von Lachapelle (2004) haben gezeigt, dass mit diesen Systemen jedoch eine wesentlich geringere Genauigkeit für die Positionierung in Gebäuden als bei freier Sicht zu den Satelliten in Abhängigkeit von der Anzahl der verfügbaren Satelliten und deren geometrischer Konfiguration

erzielt werden kann. Dabei stellt die Hauptfehlerquelle die Mehrwegausbreitung der Signale (Multipath) dar. Neben High Sensitive GPS können auch für hochgenaue Positionierung in Gebäuden sog. Pseudolites (kurz für Pseudo-Satellites) eingesetzt werden, die GPS Signale aussenden. Von der australischen Firma Locata wurde ein Positionierungssystem entwickelt, das sowohl in als auch außerhalb von Gebäuden eingesetzt werden kann. In diesem Fall werden sog. Locatalites installiert, die GPS ähnliche Signale im ISM Frequenzband (2,4 GHz) aussenden. Der Nutzer hat einen Empfänger und die Positionierung erfolgt wie bei RTK GPS mit OTF Ambiguity Resolution. Mit diesem System können Genauigkeiten im cm-Bereich erzielt werden. Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass das System im Gegensatz zu GPS nicht von Multipath in Innenräumen beeinträchtigt wird (Barnes et al. 2003).

Für eine dreidimensionale Positionierung in einem mehrstöckigen Gebäude ist auch die Angabe des korrekten Stockwerks von großer Bedeutung. Eine entscheidende Verbesserung liefert hier der Einsatz eines Barometers zur Höhenbestimmung (Retscher 2004).

3. Integration der Positionierungsverfahren

Zur Integration der Messungen der verschiedenen Sensoren wird in modernen Navigationssystemen in der Regel ein Kalman Filter eingesetzt. Ein möglicher Ansatz ist z.B. in Retscher und Mok (2004) beschrieben. Hier erfolgt eine kombinierte Positionsbestimmung aus den Messungen aller verfügbaren Sensoren in einem kaskadenförmigen Kalman Filter. Im Falle der Navigation eines Fahrzeugs kann im Anschluss die resultierende Trajektorie einer digitalen Straßenkarte mit Hilfe der Kartenvergleichstechnik (Map Matching) überlagert werden. Kealy und Scott-Young (2004) haben den Prozess des Map Matchings in den Kalman Filter Ansatz integriert, in dem die Koordinaten des zugeordneten Straßenabschnitts als zusätzliche Beobachtungen in den Filter eingeführt werden. Dies wird auch als „Intelligent Navigation“ bezeichnet und bringt eine wesentliche Verbesserung für die optimale Schätzung der unbekannt Parameter vor allem beim Ausfall der GPS Beobachtungen. Eine kurze Beschreibung des Ansatzes findet man auch in Retscher und Kealy (2005). Dieser Ansatz soll auch für die kombinierte Positionsbestimmung eines Fußgängers im Projekt NAVIO (Gartner et al. 2004) verwirklicht werden.

4. Anwendung der Positionierungsverfahren in LBS und persönlicher Navigation

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der Einsatzmöglichkeiten der Positionierungsverfahren in ausgewählten Systemen. Dabei wurde eine Gliederung in drei Teilbereiche vorgenommen, nämlich in Anwendungen mit Mobiltelefonen, ortsbezogene Dienste und Navigationssysteme für Fußgänger (wobei einige Systeme speziell für die Führung von sehbehinderten Personen entwickelt wurden). Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass Systeme, die eine Navigation ermöglichen, hauptsächlich auf ein GNSS vertrauen. Die Systeme, die nur eine grobe Positionierung zum Ziel haben, verwenden die Ortung mittels Mobiltelefonen. Ausnahme ist der mobile Stadtführer Lol@, der zwar eine grobe Positionierung mit dem Mobiltelefon herstellt, aber zusätzlich noch eine manuelle Verfeinerung (z.B. durch manuelle Eingabe der Adresse des Standortes) verlangt. Eine „on-line“-Navigation ist zwar nicht möglich, aber doch eine Führung mittels einer Karte, die sich stetig der aktuellen Position anpasst. Das Mobiltelefon wird in vielen Fällen zur Datenübertragung benötigt, um vor allem in LBS entsprechende ortsbezogene Informationen aus einer Datenbank zur Verfügung stellen zu können. Neben dem Mobiltelefon und einem GNSS sind mit Ausnahme im System Drishti und NAVIO nur wenige weitere Sensoren in den einzelnen Systemen integriert, die einen Ausfall dieser Sensoren überbrücken könnten. Die Koppelnavigation im System Drishti erfolgt allerdings nur mit einer vorweg angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit und einem Kompass. Der Kompass wiederum dient hauptsächlich der Orientierung und wird in den seltensten Fällen für eine verfeinerte Positionsbestimmung eingesetzt. Im Fußgängernavigationssystem NAVIO erfolgt die Bestimmung des zurückgelegten Weges über Ableitung der Schritte aus Messungen mit Beschleunigungssensoren und die Bestimmung der Orientierung aus einer kombinierten Richtungsmessung mit Hilfe eines digitalen Kompasses und eines Kreisel.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz der in diesem Beitrag vorgestellten Positionierungsverfahren und –methoden führt zu einer wesentlichen Steigerung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der Zuverlässigkeit von modernen, intelligenten Navigationssystemen und –diensten. Es ist zu erwarten, dass zukünftige Dienste (z.B. Location Based Services, mobile Navigationssysteme) vermehrt diese Technolo-

gien einsetzen werden. Aufgrund der Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden ist eine Kombination verschiedener Verfahren sinnvoll, bei der die Nachteile des einen Systems durch die

Vorteile eines anderen kompensiert werden. In dem Forschungsprojekt NAVIO (Gartner et al. 2004) werden diese Technologien auf ihre Einsetzbarkeit und Leistung näher untersucht.

Anwendung / System		Allgemeine Kriterien				Sensoren zur Positionsbestimmung						
		Navigation	GIS/Datenbank	Mobiltelefon für Datenübertragung	Kompass für Orientierung	GNSS	Indoor Positionierung	Mobiltelefon für Positionierung	Koppelnavigation	Kompass für Koppelnavigation	Kartenvergleichstechnik	Beschleunigungssensoren
Anwendung mit dem Mobiltelefon	Notrufgespräch			✓				✓				
	Pannennotruf			✓				✓				
	Überwachung			✓				✓				
	Friend Finding		✓	✓				✓				
Location Based Service	A1-Mobilguide		✓	✓								
	3 Geo	✓	✓	✓		✓						
	Lo@	✓	✓	✓								
	VISPA	✓	✓	✓	✓	✓						
Navigationssysteme für Fußgänger	MoBIC	✓	✓	✓	✓	✓						
	Drishti	✓	✓			✓			✓	✓	✓	
	MERL	✓	✓			✓	✓					✓
	NAVIO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 2: Vergleich von verschiedenen Systemen zur Positionierung und Navigation von Fußgängern und in LBS mit A1-Mobilguide:

LBS des Mobilfunkbetreibers A1 in Österreich

3 Geo: LBS des Mobilfunkbetreibers Drei in Österreich

Lo@: Local Location Assistant, Mobiler Stadtführer für die Innenstadt von Wien (Lechthaler und Uhriz 2002)

VISPA: Virtual Sports Assistant, Location Based Service für Bergsteiger und Wanderer (Reinhardt et al. 2002)

MoBIC: Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers, Navigationssystem für sehbehinderte Personen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Mobic 2005)

Drishti: Navigationssystem für sehbehinderte Personen der Universität Florida (Helal et al. 2001)

MERL: Mitsubishi Electric Research Laboratories, Navigationssystem für sehbehinderte Personen, Cambridge U.S.A. (Merl 2002)

NAVIO: Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld, Navigationssystem der Technischen Universität Wien (Gartner et al. 2004)

Acknowledgements

Die in dieser Arbeit präsentierte Forschung wird vom FWF Projekt NAVIO (Fußgängernavigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) des Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Österreich, Projektnr. P16277-N04, unterstützt.

Literaturverzeichnis

- [1] *Barnes, J, Rizos, C., Wang, J., Small, D., Voigt, G. and Gambale, N. (2003):* High Precision Indoor and Outdoor Positioning using LocataNet, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 2, No. 2, pp. 73-82.
- [2] *Bastisch H., S. Häfker, J. Krause, S. Wilking, B. Haje, (2003):* Projekt NOM@D – Location Based Services. Präsentation, Kommunikationsnetze, Universität Bremen, Deutschland, www.comnets.uni-bremen.de/itg/itgfg521/aktuelles/fg-treffen-230103/20030120-LBS-Allgemein-v2.pdf, Last access 01.2005.
- [3] *Beal, J. R. (2003):* Contextual Geolocation – A Specialized Application for Improving Indoor Location Awareness in Wireless Local Area Networks, in: Papers presented at the Midwest Instruction and Computing Symposium MICS2003, The College of St. Scholastica, Duluth, Minnesota, USA, www.css.edu/depts/cis/mics_2003/MICS2003_Papers/Beal.PDF, Last access 01.2005.
- [4] *Brunner-Friedrich, B. (2004):* The Use of Landmarks and Active Landmarks in Pedestrian Navigation Systems in Combined Indoor/Outdoor Environments, Technical Report, cartography.tuwien.ac.at/forschung/NAVIO/papers/WP3_WPG4.pdf, Last access 01.2005.
- [5] *Chon, H. D., Jun, S., Jung, H. and An, S. W. (2004):* Using RFID for Accurate Positioning, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 10 pgs.
- [6] *Crossbow (2004a):* IMU700CA – Fiber Optic Gyro Based IMU, Product Information, Crossbow, USA, www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Inertial_pdf/6020-0037-01_B_IMU700CA.pdf, Last access 12.2004.
- [7] *Crossbow (2004b):* CXTD Digital Tilt and Acceleration Sensor, Product Information, Crossbow, USA, www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Tilt_pdf/6020-0012-01_B_CXTD.pdf, Last access 12.2004.
- [8] *Duffett-Smith, P. J. and Craig, J. (2004):* Matrix, and Enhanced Satellite Positioning, Invited paper presented at the 5th IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, Savoy Place, London, UK, 18-20 October 2004, 4 pgs.
- [9] *Finkenzeller, K. (2002):* RFID Handbook: Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards and Identification, Carl Hanser Verlag, Munich, Germany.
- [10] *Gartner, G., Frank, A. and Retscher, G. (2004a):* Pedestrian Navigation System for Mixed Indoor/Outdoor Environments, in: Gartner G. (Ed.): Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, TU Wien, Heft 66, Papers presented at the 2nd Symposium on Location Based Services and Telecartography, January 28-29, 2004, Vienna, Austria, pp. 161-167.
- [11] *Gartner, G., Frank, A. and Retscher, G. (2004b):* Pedestrian Navigation System in Mixed Indoor/Outdoor Environment – The NAVIO Project, in: Schrenk M. (Ed.): CORP 2004 and Geomultimedia04. Proceedings of the CORP 2004 and Geomultimedia04 Symposium, February 24-27, 2004, Vienna, Austria, pp. 165-171, corp.mmp.kosnet.com/CORP_CD_2004/archiv/papers/CORP2004_GARTNER_FRANK_RETSCHER.PDF, Last access 12.2004.
- [12] *Helal, A. S., Moore, S. E., Ramachandran, B. (2001):* Drishti: An Integrated Navigation System for Visually Impaired and Disabled., in: Proc. of the Fifth International Symposium on Wearable Computers, S. 149-156.
- [13] *Honeywell (2004):* HMR 3000 Digital Compass Module, User's Guide, Honeywell International Inc., USA, www.ssec.honeywell.com/magnetic/datasheets/hmr3000_manual.pdf, Last access 12.2004.
- [14] *IEEE 802.11 (2004):* IEEE 802.11TM Wireless Local Area Networks – The Working Group for WLAN Standards, grouper.ieee.org/groups/802/11/, Last access 12.2004.
- [15] *Imst (2004):* Indoor Locating – Imst ipos, Project c21, Presentation, IMST GmbH, Carl-Friedrich-Gauß-Str. 2, D-47475 Kamp-Lintfort, Germany.
- [16] *Kealy, A. N. and Scott-Young, S. (2004):* An Integrated Position and Attitude Determination System to Support Real-Time, Mobile, Augmented Reality Applications, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 17 pgs.
- [17] *Kong, H., Kwon, Y. and Sung, T. (2004):* Comparisons of TDOA Triangulation Solutions for Indoor Positioning, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 11 pgs.
- [18] *Lachapelle, G. (2004):* GNSS Indoor Location Technologies, in: Papers presented at the 2004 International Symposium on GNSS, Sydney, Australia, 6-8 December, 2004, 15 pgs.
- [19] *Lechthaler, M. und Uhriz, S. (2002):* Lol@ – City Guide. Prototyp einer kartenbasierten UMTS Anwendung, in: Kelnhofer, F., Lechthaler, M., Brunner, K. (eds.): Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, TU Wien, Heft 58, S. 171-182.
- [20] *MERL (2002):* Produktbeschreibung des Local Positioning System MERL. Mitsubishi Electric Research Laboratories, Cambridge, U.S.A, www.merl.com, Last access 08.2002.
- [21] *MoBIC (2005):* Das MoBIC ("Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers") Project, Institut für Simulation und Graphik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, simsrv.cs.uni-magdeburg.de/projects/mobic/mobicde.html, Last access 01.2005).
- [22] *Newman, J., Wagner, M., Bauer, M., Mac Williams, A., Pintaric, T., Beyer, D., Pustka, D., Strasser, F., Schmalstieg, D. and Klinker, G. (2004):* Ubiquitous Tracking for Augmented Reality, Technical Report, Vienna University of Technology, www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/ubitrackismar04.pdf, Last access 12.2004.
- [23] *Pahlavan, K. Li, X. and Mäkelä, J.-P. (2002):* Indoor Geolocation Science and Technology, IEEE Communications Magazine, February 2002, pp. 112-118.

- [24] *PointResearch (2004)*: DRM-III Dead Reckoning Module – Engineering Development Tools, PointResearch Corporataion, USA, www.pointresearch.com/drm_eval.htm, Last access 12.2004.
- [25] *Reinhardt, W., Sayda, F. und Wittmann, E. (2002)*: Location Based Services für Bergsteiger und Wanderer – erste Erfahrungen mit VISPA, in: Kelnhofer, F., Lechthaler, M., Brunner, K. (eds.): Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, TU Wien, Heft 58, S. 163-169.
- [26] *Retscher, G. and Mok, E. (2001)*: Integration of Mobile Phone Location Services into Intelligent GPS Vehicle Navigation Systems, in: Papers presented at the 3rd Workshop on Mobile Mapping Technology, January 3-5, 2001, Cairo, Egypt.
- [27] *Retscher, G. (2002)*: Einsatz von Location Based Services (LBS) als Navigationshilfe: Integration in moderne Navigationssysteme. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, VGI 1/02, pp. 2-12.
- [28] *Retscher, G. (2004)*: Multi-sensor Systems for Pedestrian Navigation, in: Papers presented at the ION GNSS 2004 Conference, September 21-24, 2004, Long Beach, California, USA, CD-Rom Proceedings, 12 pgs.
- [29] *Retscher, G. and Mok, E. (2004)*: Sensor Fusion and Integration using an Adapted Kalman Filter Approach for Modern Navigation Systems, Survey Review, Vol. 37, No. 292 April 2004, pp. 439-447.
- [30] *Retscher, G. and Thienelt, M. (2004)*: Die Zukunft des Einkaufens – Was können Geodäten dazu beitragen? Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Wichmann Verlag, Heidelberg, AVN 11/12, pp. 387-393.
- [31] *Retscher, G. and Kealy, A. (2005)*: Ubiquitous Positioning Technologies for Intelligent Navigation Systems. in: Papers presented at the 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2005, University of Hannover, Germany, March 17-18, 2005, 10 pgs.
- [32] *Roth, J. (2004)*: Data Collection, in: Schiller, J. and Voisard A. (Eds.) (2004): Location-Based Services, Morgan Kaufmann Publishers, USA, pp. 175-205.
- [33] *Schill, A. (2004)*: Drahtlose lokale Netzwerke, WLAN, Vorlesungsunterlagen „Mobile Kommunikation und Mobile Computing“, Institut für Systemarchitektur, Fakultät Informatik, TU Dresden, Deutschland, www.rn.inf.tu-dresden.de/scripts/_lsrn/lehre/mobile/print/08.pdf, Last access 08.2004.
- [34] *Vaisala (2004)*: PTB220 Digital Barometer, Vaisala, Finland, www.vaisala.com/DynaGen_Attachments/Att2468/PTB220%20Brochure.pdf, Last access 12.2004.
- [35] *Win, M. and Scholtz, R. (1998)*: On the Performance of Ultra-Wide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environment, IEEE Commun. Letters, Vol. 2, No. 2, Feb. 1998, pp. 51-53.

Adresse des Autors

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günther Retscher: Institut für Geodäsie und Geophysik, Forschungsgruppe Ingenieur-geodäsie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, A-1040 Wien, Österreich.
E-mail: gretsch@pop.tuwien.ac.at

Dissertationen, Diplom- und Masterarbeiten

Integration von GNSS und Loran-C auf Rohdatenbasis

Günther Abwerzger

Dissertation: Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2004

Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Hofmann-Wellenhof, Prof. David Last (University of Wales)

Obwohl die Verfahren der Satellitennavigation im Bereich Positionierung und Navigation eine bedeutende Rolle spielen, und obwohl es Bestrebungen gibt, neue Satellitennavigationssysteme wie beispielsweise das europäische Galileo zu entwickeln, können derartige Systeme die Anforderungen heutiger Navigation vielfach nicht ganz zufrieden stellen. Daher werden zukünftige Navigationssysteme eine Kombination aus Einzelsystemen darstellen, die sich gegenseitig optimal ergänzen. Da Loran-C hinsichtlich seiner Systemcharakteristik, speziell aber in Bezug auf das Ausbreitungsverhalten der Trägerwelle, zu GNSS komplementär ist, ist es ein möglicher Kandidat für eine Integration mit Satellitennavigation. Innerhalb der letzten Jahre wurden mehrere Forschungsprojekte durchgeführt, die die Eignung der GNSS/Loran-C Integration untersuchten, wobei erste Resultate sehr viel versprechend sind. Auch die fortschreitende Entwicklung von digitalen Loran-C Empfängern begünstigt die Idee eines integrierten GNSS/Loran-C Navigationssystems. Die Arbeit baut auf früheren Ergebnissen der Untersuchungen bezüglich GNSS/Loran-C Integration auf und führt die Entwicklung von Algorithmen zur Systemintegration auf Basis von Rohdaten weiter. Weiters werden Resultate von Messungen mit den zur Verfügung stehenden Empfängerprototypen gezeigt, die das Potenzial der entwickelten Methoden demonstrieren.

Geoidbestimmung mittels Schwereraum-Ansatz

Carlos Antunes

Dissertation: Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2004

Begutachter: Em.o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.techn. Helmut Moritz, Prof. Dr. Fernando Sansò (Politecnico di Milano)

Die Arbeit untersucht die Anwendbarkeit des Schwereraum-Ansatzes, der das freie Randwertproblem in ein fixes Randwertproblem überführt, zur Geoidbestimmung in seiner linearen Form. Die Kombination zweier unterschiedlicher Datensätze (Schwere und Lotrichtung) über das adjungierte Potential (im Schwereraum definiert) ermöglicht eine kombinierte Geoidlösung. Da die Lösung eine rekursiv definierte Funktion enthält, ist die Geoidbestimmung nur durch einen iterativen Prozess und die Kenntnis einer a priori Lösung möglich.

Es handelt sich also um eine Methode zur Verbesserung und nicht um eine Methode zur Bestimmung des Geoids. Die numerische Lösung basiert auf der Anwendung der Methode der Punktmassen im Ortsbereich unter Verwendung von harmonischen Funktionalen als Näherung für die Lösung des Problems. Für den nichtlinearen Fall des Randwertproblems im Schwereraum-Ansatz wird ein physikalisches Modell eingeführt und eine numerische Methode auf Basis der Superposition von Schwerequellen bestimmt ("gravity confinement" Methode). Leider ist die Methode der Superposition für die betrachtete nichtlineare Differentialgleichung nicht möglich, wodurch noch keine endgültigen Resultate für die "gravity confinement" Methode erhalten wurden. Der lineare Lösungsansatz wird auf Schweredaten, astronomische und GPS-Beobachtungen (Testgebiet Tagus Tal), die im Rahmen des Doktorates bestimmt wurden, erfolgreich angewandt.

Digital-photogrammetrische Bewegungsmessung von Blockgletschern — Entwurf eines Monitoring-Systems

Richard Ladstätter

Dissertation: Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, 2004

Begutachter: Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Brandstätter, Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Dipl.-Forstwirt Mathias Schardt

Im Zuge der Permafrostforschung im Hochgebirge ist auch die Erforschung der Dynamik von Blockgletschern von großem Interesse. Die Digital-Photogrammetrie kann hier einen wichtigen Beitrag liefern, da sie die automatisierte Messung von dichten, hochgenauen Fließvektorfeldern ermöglicht, die wichtige Aufschlüsse über das dynamische Verhalten von Blockgletschern geben können. Diese Ergebnisse sind auch für die Klimaforschung von Interesse, da Blockgletscher als Indikatoren längerfristiger Klimaschwankungen gelten. Der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Monitoring-Ansatz bedient sich eines eigens entwickelten Konzeptes zur Vorentzerrung der verwendeten, multi-temporalen Stereo-Luftbilder mit einem groben Geländemodell (Pseudo-Orthophoto-Konzept). Die hochgenaue digitale Punktübertragung und exakte, photogrammetrische Rekonstruktion erfolgt mit Hilfe eines Multi-Photo-Constrained-Matching-Algorithmus, der für die multi-temporale Punktübertragung in der Pseudo-Orthophoto-Geometrie adaptiert wurde. Die Arbeit beinhaltet weiters ausführliche Tests dieses neu entwickelten Matching-Verfahrens mit Hilfe simulierter Bild-daten. Die Arbeitsweise der auf diesem Prinzip basierenden Monitoring-Software ADVN v2.0 wird anhand einer Projektstudie am Beispiel des Blockgletschers im äußeren Hochebenkar (Ötztal, Tirol) demonstriert.

Numerical solution strategies for the GOCE mission by using cluster technologies

Gernot Plank

Dissertation: Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2004

Begutachter: Univ.Prof. Dr.-Ing. Reinhard Rummel (Technische Universität München), o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Sünkel

Das Ziel der europäischen Satellitenmission GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) ist es, eine hochgenaue Messung des Erdschwerefeldes durchzuführen. Die Auswertung dieser Mission, deren Start für 2006 geplant ist, wird sowohl in technischer als auch in mathematischer Hinsicht eine große Herausforderung. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurde ein Auswertesystem entwickelt, das eine Modellierung des Erdschwerefeldes ohne Approximationen ermöglicht. Dieses Modell wird durch rund 63,000 Parameter beschrieben, die aus einigen hundert Millionen Messungen des Satelliten berechnet werden. Um diese riesigen Datenmengen verspeichern und verarbeiten zu können, müssen während der gesamten Prozessierung parallele Hardwarearchitekturen zum Einsatz kommen. Im Rahmen eines europäischen Konsortiums (EGG-C – European Goce Gravity Consortium) wird das erstellte Software-system dazu verwendet um diese Auswertung in Graz durchzuführen.

Berechnung troposphärischer Gradienten

Marco Ess

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Harald Schuh
Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Böhm

Mit Hilfe der VLBI (Very Long Baseline Interferometry) werden geodätische Größen wie zum Beispiel Erdorientierungsparameter (EOP), Positionen von Radioquellen und Basislinienlängen bestimmt. An den Beobachtungsstationen ist die Laufzeitverzögerung in der „neutralen Atmosphäre“ eine der wesentlichen Fehlerquellen. Um bei der VLBI eine bestmögliche Genauigkeit erzielen zu können, müssen diese Laufzeitverzögerungen mit Projektionsfunktionen modelliert werden. Hierbei werden einerseits Projektionsfunktionen (mapping functions) verwendet, andererseits werden Asymmetrien durch sogenannte Gradientenansätze modelliert. Durch Projektionsfunktionen können Laufzeitverzögerungen von der Zenitrichtung in eine bestimmte Elevation umgerechnet werden. Die im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelte Projektionsfunktion Vienna Mapping Function 2 (VMF2) versucht die Fehler, die durch die Verwendung von herkömmlichen Gradientenmodellen entstehen können, durch Einbeziehung von numerischen Wettermodellen auszuschalten. Als Grundlage der VMF2 dient die Vienna Mapping

Function (VMF, Boehm und Schuh 2004). Diese wurde hier um die Modellierung der azimutalen Asymmetrie der Laufzeitverzögerungen erweitert. Bei CONT02 handelt es sich um eine zweiwöchige VLBI Messkampagne (15.-31. Oktober 2002). Diese Kampagne, an der 8 Stationen teilnehmen, soll die bestmögliche Genauigkeit demonstrieren, die VLBI zurzeit erreichen kann. Anhand der Messkampagne CONT02 soll festgestellt werden, ob VMF2 gegenüber anderen Projektionsfunktionen Verbesserungen bringt und in welcher Größenordnung diese liegen. Es wurden für einen Anfangselevationswinkel von 3.3° jede sechs Stunden und alle 30° im Azimut die Parameter a_h und a_w berechnet. Diese Ergebnisse gehen später in die Auswertesoftware OCCAM ein. Die Auswertungen mit der Software OCCAM zeigen, dass die VMF2 ohne zusätzlich geschätzte Gradienten Verbesserungen gegenüber herkömmlichen Projektionsfunktionen bringt.

Using the ArcGIS-Extension Survey Analyst for a Measurement-Based Cadastral System

Michael Franz

Diplomarbeit: Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: o.Univ.-Prof. Dr. Andrew U. Frank
Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Navrátil

First ideas on measurement-based GIS have been presented in the late 1980s. At that time computing power for such a system has not been available, nor has the software. In 2002 ESRI presented an extension to ArcGIS, the Survey Analyst. Survey Analyst combines GIS data sets with measurements used to compute the coordinates of the points forming the data set. This allows setting up measurement-based systems.

The diploma thesis investigates if the system is fit for the use for a measurement-based cadastral system. A small cadastral data set is used to test the management capabilities of the Survey Analyst. The thesis does not stress performance but the functionality. The result of the thesis is, that in principle the survey analyst can be used for cadastral systems. The thesis also presents a list of eight points where development work is necessary. However, Survey Analyst is an excellent example for including measurements in a GIS.

Die Lösung der Phasenambiguitäten für GNSS-2: Möglichkeiten und Methoden

Margit Gaggl

Magisterarbeit: Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2004

Betreuer: Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Legat.

Die Beobachtung von GPS-Trägerphasen ermöglicht die Positionierung mit Zentimeter- bis Millimetergenauigkeit. Da jedoch nur das Phasenreststück gemessen werden kann, entstehen zusätzliche ganzzahlige Unbekannte, die Phasenambiguitäten. Diese müssen be-

stimmt werden, um die erreichbare Genauigkeit auszuschöpfen. Dafür wurde eine Vielzahl von Lösungsmethoden entwickelt. Das modernisierte GPS und das europäische System Galileo, die man häufig unter dem Begriff GNSS-2 zusammenfasst, werden neue Möglichkeiten für die Ambiguitätenlösung eröffnen, im Besonderen durch die zukünftige Verfügbarkeit von drei bzw. vier Trägerfrequenzen. In der Arbeit wird ein Überblick über existierende Lösungsmethoden gegeben. Diese werden klassifiziert, und einige repräsentative Methoden werden genauer analysiert und bezüglich ihrer Anwendbarkeit für GNSS-2 untersucht. Während die LAMBDA-Methode für GNSS-2 nicht modifiziert werden muss, wird das Widelaning durch Ergänzung mit neuen Widelane-Linear kombinationen zu mehrstufigen Algorithmen erweitert (CIR, TCAR, MCAR). Um die Leistungsfähigkeit der genannten Methoden vergleichen zu können, wurde mit C++ und der Klassenbibliothek Qt ein Simulationstool programmiert, mit dem Plots der Erfolgsraten bei epochenweiser Ambiguitätenlösung angefertigt werden können. Die Ergebnisse der Simulationen werden diskutiert, um die Vor- und Nachteile dieser Methoden zu veranschaulichen und zu zeigen, von welchen Aspekten von GNSS-2 die Ambiguitätenlösung profitiert.

Auswirkungen der VLBI-Beobachtungsgeometrie auf die geodätischen Parameter

Hannes Hofstätter

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Harald Schuh
Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Böhm

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie sich in der geodätischen VLBI (Very Long Baseline Interferometry) die Änderung der Beobachtungsgeometrie, also der Anordnungen der Stationen auf der Erde, auf die gesuchten Parameter auswirkt. Damit sind vor allem die Erdrotationsparameter gemeint, im konkreten Nutation (dpsi und deps), Polbewegung (xpol, ypol) und Rotation der Erde, ausgedrückt durch die Änderung der Differenzen Weltzeit minus koordinierte Zeit (UT1-UTC). Im Rahmen der durchgeführten Simulationen wurde besonders darauf geachtet, nicht nur gut verteilte Stationsnetze zu untersuchen, sondern auch extreme Netzanordnungen zu testen. Damit soll gezeigt werden, welche Anordnungen für die Bestimmung der Parameter gut und welche überhaupt nicht geeignet sind. Speziell die Stationsparameter (Nord, Ost, Up (=Höhe), Uhr und ZWD (engl.: Zenith Wet Delay, feuchte Laufzeitverzögerung in Zenitrichtung)) zeigen hohe Korrelationen miteinander, jeweils in Abhängigkeit von verschiedenen Cut-Off-Winkeln. Es stellt sich heraus, dass der Fehler in der Uhr immer größer ist als in Nord, Ost, Up und ZWD. Für die Untersuchung der Erdorientierungsparameter (EOP) wurden neben gut verteilten Netzen vor allem die extremen Netzanordnungen untersucht. Dabei wurden die Stationen z. B. entlang von Längen- oder Breitenkreisen platziert, um zu

zeigen, welche Netzanordnung für die Bestimmung gewisser Parameter optimal und welche nicht mehr brauchbar ist. Die EOP-Untersuchungen zeigen vor allem, dass die kurzperiodischen Schätzungen der Polbewegung sehr hoch mit den langperiodischen der Nutation korreliert sind. Da bei einer hohen Korrelation zwischen verschiedenen Parametern diese nicht mehr voneinander getrennt werden können, muss man z.B. bei Schätzung der Polbewegung die Nutation fixieren; man kann also nicht beide Effekte gleichzeitig schätzen.

Erstellung eines photorealistischen 3D-Modells der Kirche San Juan del Hospital in Valencia / Spanien

Wilfried Karel

Diplomarbeit: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Karl Kraus

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Kager, Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Rottensteiner

Diese Diplomarbeit wurde am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) erstellt, in Kooperation mit Dr. José Luis Lerma García, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésia y Fotogrametría, ETSIGCT, Universidad Polytécnica de Valencia, Spanien.

Ziel war die Erstellung eines geometrisch exakten Photomodells der Kirche San Juan del Hospital in der historischen Altstadt von Valencia. Die Ausgabe sollte im standardisierten, weit verbreiteten, plattform- und herstellerunabhängigen Format VRML97 erfolgen.

San Juan del Hospital wurde 1238 a.d. erbaut, im Jahr der endgültigen Rückeroberung des bis dahin arabischen Valencias durch christliche Truppen ("Reconquista", 722-1492). Dieser Zeitpunkt liegt bereits am Ende der kunsthistorischen Epoche der Romanik (ca. 950-1250), weshalb auf der iberischen Halbinsel nur sehr wenige sakrale Bauten in diesem Stil errichtet wurden, noch weniger sind bis heute erhalten geblieben. Besonders hieraus wird die Notwendigkeit der Dokumentation ersichtlich. In unmittelbarer Nachbarschaft zum Kirchengebäude befindet sich ein ebenso alter steinerner Pavillon, der einst für Zeremonien zur Bestattung am umgebenden Friedhof Nutzung fand.

Das Kirchengebäude sollte mit einer geometrischen Genauigkeit wie auch einem radiometrischen Detaillierungsgrad von 5cm, der Pavillon resp. mit 2cm modelliert werden. Um dies bei dieser komplexen Geometrie und äußerst schweren Zugänglichkeit zu erreichen, sollten alle zur Verfügung stehenden Mittel genutzt werden.

So waren zu Beginn die bereits vorhandenen photogrammetrischen und tachymetrischen Auswertungen zu beurteilen. Es stellte sich allerdings heraus, daß eine komplette Neuaufnahme des Objekts sich wesentlich wirtschaftlicher gestalten würde. Um die Erstellung des Modells zu beschleunigen bzw. sie überhaupt flächendeckend zu ermöglichen, würde die exzessive

Nutzung von Gestaltinformationen nötig werden. Deren Verwendung kann allerdings eine projektbegleitende Kamerakalibrierung negativ beeinflussen, weshalb vor Beginn der Aufnahmen die innere Orientierung der zur Verfügung stehenden Amateur-Digitalkamera in einem Testfeld bestimmt wurde. Statistische Tests ergaben aber, daß diese sich nach einer vorübergehenden Verstellung der Fokussierung und Brennweite nicht wiederherstellen ließ. Deshalb schien es vorteilhaft, zahlreiche tachymetrische Paßpunkte zu bestimmen. Die Belichtung und spätere Auswahl der Photogramme geschahen unter Berücksichtigung der geforderten Objektauflösung und maximalen Unschärfe der zu entzerrenden Textur. Gestaltinformation wurde in Form von expliziten wie auch impliziten Gleichungen bis vierten Grades in den hybriden Block integriert. Dabei kam die große Universalität des verwendeten Programmsystems ORIENT/ORPHEUS zur Geltung. Viele Koeffizienten wurden mehrfach verwendet, um Baugleichheit von Objektteilen wie Säulen, Kuppelsegmenten oder auch Spiegelsymmetrien zum Ausdruck zu bringen. Die zu verwendenden Parameter wurden auf Signifikanz getestet und entsprechend angepasst. Schließlich wurden mit Hilfe der robusten Fehlerschätzung schlechte Beobachtungen aus dem Block entfernt. An Hand der Ergebnisse der Varianzkomponentenschätzung waren noch die a-priori Standardabweichungen der verschiedenen Beobachtungs-Genauigkeitsklassen anzupassen. An der endgültigen Ausgleichung nahmen ca. 12 000 Beobachtungen teil, aus denen rund 7000 Unbekannte geschätzt wurden.

Nach der Definition der Topologie wurde nun das Modell ins Format VRML97 exportiert. Es zeigte sich, daß ein Farbabgleich der bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen getätigten Aufnahmen nötig war.

Verschiedene dynamische Elemente wurden programmiert. So erscheint der Pavillon je nach Distanz zum virtuellen Betrachter in verschiedenen Auflösungen; ein animierter Rundgang kann gestartet und historische Information eingublendet werden; auf verschiedenen Anzeigetafeln können Programmodule geschaltet, die Stellung des Betrachters im Raum angezeigt und ein kleines Tutorium gestartet werden. Weiters ist es möglich, Koordinaten und Strecken am Objekt zu messen. Alternativ dazu kann der Betrachter in die Qualität der Punktbestimmung Einsicht nehmen. Dies geschieht durch Visualisierung der photogrammetrischen und polaren Beobachtungsstrahlen im Raum, durch numerische wie graphische Ausgabe der Punktgenauigkeit in Form der Koordinatenstandardabweichungen bzw. des Fehlerellipsoids im Punkt und durch Anzeige der Anzahl der zur Bestimmung des Punktes verwendeten Beobachtungsgleichungen.

GPS/INS für Transportanwendungen im Alpenraum

Hans-Peter Ranner

Magisterarbeit: Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2004

Betreuer: Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Legat

Der Einsatz von GPS in Landanwendungen wird durch die geringe Signalstärke der Satelliten beim Empfang auf der Erde erschwert. Dies führt dazu, daß die Signale durch verschiedenste Hindernisse abgeschattet werden können. Gerade im Alpenraum werden beträchtliche Signalabschattungen durch die Topographie und die oft dichte Vegetation hervorgerufen. Aus diesem Grund bedürfen Navigationsanwendungen z.B. für Transportzwecke in derartigen Umgebungen anderer Verfahren zur Überbrückung von GPS-Ausfällen. Eine Methode ist die Integration von GPS mit einem Inertialnavigationsystem (INS), das sich durch seine Autonomie, d.h. durch die Unabhängigkeit von Funknavigationsanlagen, auszeichnet. Problematisch ist jedoch die zeitliche Abnahme der Positionsgenauigkeit, die vor allem durch systematische Sensorfehler verursacht wird. Hier kann die wiederholte Korrektur der Ergebnisse mit GPS Abhilfe schaffen. Im Rahmen dieser Magisterarbeit wurden Testmessungen mit einem hochqualitativen GPS/INS-System im Großraum Berchtesgaden durchgeführt. Das Ziel dieser Testmessungen war die Bestätigung, daß sich derartige Systeme für den Einsatz in alpinem Gelände eignen. Der erste Teil der Arbeit umfasst die für das Verständnis der GPS/INS-Integration notwendigen theoretischen Grundlagen. Im zweiten Teil werden die Planung und Durchführung der Testmessungen beschrieben sowie die daraus resultierenden Ergebnisse graphisch dargestellt und interpretiert.

Verknüpfung korrespondierender Kartenelemente im Hinblick auf automatisierte Fortführung

Alexandra Stadler

Diplomarbeit: Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Georg Gartner

Betreuer: Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Georg Gartner, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Mirjanka Lechthaler

Durch den Einsatz digitaler Technologien ist es möglich geworden, unterschiedlichste Repräsentationen der Realität kombiniert darzustellen. Allerdings kommt es dabei aufgrund von Inkonsistenzen, Redundanzen und graphischen Konflikten oft zu unerwünschten Ergebnissen. Die Lösung dieses Problems liegt in der Integration in einem kollektiven System – einer so genannten Multi-Resolution/Representation-Database. Voraussetzung dafür ist die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen einzelnen Repräsentationen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Beantwortung der Frage, ob es möglich ist, die Verknüpfung korrespondierender Kartenelemente zu modellieren und dadurch einen ersten Schritt in Richtung automatisierter Fortführung zu setzen. Dazu wurden bestehende Matchingalgorithmen untersucht und auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen ein eigener Algorithmus zur Verknüpfung von Elementen der Objektklasse Bebauung entwickelt. Motivation ist der Nutzen von Verknüpfungen für die automatisierte Fortführung, welcher der Arbeit eine klare Perspektive gibt.

Troposphärische Projektionsfunktionen für totale Laufzeitverzögerungen

Birgit Werl

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, 2004

Begutachter: o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Harald Schuh

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Böhm.

Für VLBI und GPS sind die troposphärischen Laufzeitverzögerungen neben den instrumentellen Einflüssen die wichtigste Fehlerquelle bei der Bestimmung geodätischer Parameter. Die Laufzeitverzögerung in der Atmosphäre wird in einen hydrostatischen und einen feuchten Anteil aufgeteilt. Der hydrostatische Anteil der Laufzeitverzögerung in Zenitrichtung kann sehr genau aus dem totalen Luftdruck an der Bodenstation, der Stationsbreite und der Stationshöhe bestimmt werden. Der feuchte Anteil in Zenitrichtung kann dagegen nicht aus meteorologischen Parametern an der Station berechnet werden, da Bodenwerte nicht repräsentativ für die Verteilung des Wasserdampfes über der Station sind. Der feuchte Anteil muss daher geschätzt werden. Bei VLBI Stationen wird der Druck an der Station gemessen. Bei GPS Stationen wird der Druck meist nicht gemessen, sondern ein Durchschnittswert an der Station verwendet. Dadurch treten Fehler in der hydrostatischen Laufzeitverzögerung in Zenitrichtung auf. Projektionsfunktionen bilden die hydrostatischen und feuchten Laufzeitverzögerungen in Zenitrichtung auf beliebige Elevationen ab. Durch den vorhin beschriebenen Fehler bei GPS wird ein Teil der hydrostatischen Laufzeitverzögerung in Zenitrichtung mit der falschen Projektionsfunktion multipliziert. Die neue Projektionsfunktion VMF(total) (Vienna Mapping Function total), die auf numerischen Wettermodellen beruht, verzichtet auf die Aufteilung in einen feuchten und einen hydrostatischen Anteil. Somit entstehen keine Fehler mehr aufgrund falscher Druckwerte und der Projektion mit der falschen Projektionsfunktion. Es wurde außerdem eine neue hydrostatische Projektionsfunktion VMF (hydro) gebildet, für die neue b und c Koeffizienten gewählt wurden. Diese neuen Werte passen für alle Jahreszeiten sowohl für die Süd- als auch für die Nordhalbkugel. Untersucht wird auch, wie wichtig gute a priori Informationen für die hydrostatische Laufzeitverzögerung in Zenitrichtung sind.

Local spatial Variation in (very) low birth weight and other risk factors influencing infant mortality. A study from Baton Rouge, Louisiana

Monika Jenny Arthold

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Department of Geography and Anthropology, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Begutachter/Betreuer: Ass.Prof. Dr. Michael Leitner (Louisiana State University), Mag. phil. Dr. phil. Oswald Jochum (FH Technikum Kärnten)

Abstract: The infant mortality rate for East Baton Rouge Parish is higher than for the United States as a whole (Leitner and Curtis 2002). This establishes Baton Rouge as excellent and significant location to investigate various risk factors that are responsible for this high infant mortality rate. The data utilized in this research are birth certificates that cover a twelve-year time period from 1990 to 2001.

First of all, the problem of infant mortality and its influencing risk factors is addressed. The most significant risk factor, (very) low birth weight, is discussed in detail. Within the area of East Baton Rouge, the spatial distribution of (very) low birth weight infants is mapped and analyzed. Furthermore, the local spatial autocorrelation of low birth weight infants is calculated and displayed.

Local differences have to be taken into account in order to produce a truthful depiction of reality. Consequently, this research introduces the use of local spatial logistic regression models applied to infant mortality risk factors. In particular, logistic Geographically Weighted Regression is employed in this research. The spatial variations of selected risk factors that influence infant mortality are investigated and discussed. Univariate, as well as, multivariate local logistic regression models are estimated. The risk factor (very) low birth weight is employed as a surrogate for the infant mortality rate in this research and used as dependent variable in the local spatial regression models. The risk factors mother's age, race, educational level and the number of prenatal care visits are selected for the independent variables in the regression. The results of the research show that spatial variations of the influencing risk factors exist across the study area, as well as over the twelve-year time period.

Summary: The primary goal of this research was to identify and describe the local spatial variations in infant mortality and its influencing risk factors. The study area for this research was the city of Baton Rouge, Louisiana. The data for this study were birth certificates for a time period from 1990 to 2001. The most important risk factor for infant mortality, (very) low birth weight was employed as a surrogate for the infant mortality rate in this research. Before the local spatial variation of (very) low birth weight and other risk factors was addressed, the existing

literature on infant mortality and its influencing risk factors was reviewed in Section 2. Chapter 3 discussed the distribution of (very) low birth weight infants. Additionally, clusters of low birth weight infants were explored. Besides, the method of local logistic regression was introduced. GWR 3.0, which is a state of the art software product, was employed in this research to estimate local logistic regression models. In the logistic GWR models, (very) low birth weight was used as the dependent variable. Prenatal care was chosen as independent variable for the univariate local logistic regression models. Furthermore, the mother's age, her educational level and race, as well as the number of prenatal care visits were utilized as independent variables for the multivariate logistic GWR.

GWR can be compared to a magnifying glass, because unimagined details in the relationships between variables come into focus. If a global regression model were applied to the same data, these details would have remained hidden (Matthews 2002). Fotheringham calls the method „a spatial microscope“ (Fotheringham et al. 2003). GWR has proven to be a useful method for investigating spatial non-stationarity, especially for this research. The results showed a spatial variation in the relationships of the risk factors not only within the study area but also across the considered twelve-year time period.

Entwicklung eines interaktiven Viewers zur webbasierten 3D-Datenvisualisierung

Hans Markus Beyer

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Amt der oberösterreichischen Landesregierung

Betreuer/Gutachter: Mag. Dr. rer.nat. Gernot Paulus (FH Technikum Kärnten), Mag. MAS(GIS) Thomas Ebert (Amt der oberösterreichischen Landesregierung)

Die Standardlösung für 3D Visualisierungen im Internet ist VRML (Virtual Reality Modelling Language). In dieser Diplomarbeit wird eine alternative Methode, die bisher nur für 2D Web Mapping verwendet wird, für die 3D Visualisierung von Geodaten im Internet angewendet. Anders als bei VRML erfolgt bei der neu entwickelten Methode die gesamte 3D Datenverarbeitung serverseitig. Ein Rasterbild mit der aktuellen 3D Ansicht wird an den Client (Webbrowser) gesendet und dort visualisiert. Damit möglichst viele Internetanwender den 3D Viewer verwenden können, werden nur HTML Elemente verwendet, die in allen Browsern dargestellt werden können. In der virtuellen 3D Welt kann der Anwender beschränkt navigieren. Da die Maus sich zur Navigation in 3D nicht eignet, erfolgt die Interaktion über Buttons mit entsprechenden Symbolen. Damit der User schnell das gesuchte Ziel im virtuellen Raum findet, verwendet der 3D Viewer eine gezielte Positionierung. Der Anwender kann entweder über eine Karte oder eine Suchfunktion den Ort der 3D Betrachtung festlegen. In

den 3D Ansichten ist das Digitale Höhenmodell (DHM) mit überlagerten Verkehrsrouten, Gewässern und Hauptorten zu sehen. Zur Orientierung in der virtuellen Welt wird eine Übersichtskarte mit der aktuellen Position und Richtungsanzeige verwendet. Eine weitere Hilfe bei der Orientierung ist die Beschriftung von den höchsten Bergen und größten Orten. Diese Arbeit beschreibt die Realisierung eines 3D Viewers Prototyps und evaluiert, ob diese Methode einer breiten Benutzerschicht im Echtbetrieb zur Verfügung gestellt werden kann. Aufgebaut und ausgeführt wurde dieses Projekt in Zusammenarbeit mit der DORIS (Digitales Oberösterreichisches Raum Informations System) Systemgruppe der Landesregierung Oberösterreich.

GIS-gestützte Analyse der Lebensmittelnahversorgungssituation in Klagenfurt

Ramona Ettinger

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Magistrat Klagenfurt, Abteilung Stadtplanung

Betreuer/Gutachter: Mag. Dr. rer.nat. Paulus Gernot (FH Technikum Kärnten), Dipl.-Ing. Robert Piechl (Magistrat der Stadt Klagenfurt)

Das Thema dieser Diplomarbeit ist die GIS-gestützte Analyse der Lebensmittelnahversorgungssituation in Klagenfurt. Erstmals wurde für die Abteilung Stadtplanung des Magistrates der Gemeinde Klagenfurt eine solche Analyse angestellt. Durch den Einsatz von GIS wurden für die Stadtplanung neue Methoden zur Abbildung, Analyse und Bewertung der Lebensmittelnahversorgungssituation entwickelt.

Analysiert wurden zwei verschiedene Arten von Erreichbarkeiten: die Erreichbarkeit eines Nahversorgers zu Fuß und die Erreichbarkeit eines Nahversorgers mit dem PKW. Basierend auf diesen Erreichbarkeiten werden Einzugsbereiche festgelegt. Diese Einzugsbereiche sind dann herangezogen worden, um die Grade der Versorgung im Untersuchungsgebiet, der Einwohner in Klagenfurt und die der Baulandreserven zu ermitteln. Es wurde also visualisiert, zu wie vielen Nahversorgern ein Einwohner einerseits Zugang zu Fuß, und andererseits Zugang mit dem PKW hat. Die Ermittlung der Versorgungsgrade der Baulandreserven diente der Ermittlung jener Gebiete, in denen eine Errichtung von Wohnanlagen sinnvoll wäre, da diese bereits versorgt werden. Die Erreichbarkeit eines Nahversorgers durch den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht analysiert worden.

Folgende Methoden wurden entwickelt bzw. angewandt: (1) Eine Berechnung der Einzugsbereiche eines Nahversorgers für die Erreichbarkeit mit dem PKW wurde entwickelt. Mit dieser Berechnung wurde für jeden Nahversorger, in Abhängigkeit seiner Verkaufsfläche und der Anzahl der Parkplätze, individuell der Einzugsbereich (Versorgungsbereich) ermittelt. (2) Die

erzielten Ergebnisse dienen dann als Input für eine Netzwerkanalyse, zur Berechnung und Visualisierung der Einzugsbereiche am Graphen (Distanz basiert). Bei dieser Methode wurden Einbahnen und Fahrverbote berücksichtigt. (3) Mittels Rasteranalysen wurde dann der Grad der Versorgung (durch Nahversorger) an jedem beliebigen Punkt im Untersuchungsgebiet ermittelt.

Die erwarteten Ergebnisse wurden erfüllt: Mittels der Ermittlung und Abbildung der Erreichbarkeiten zu Fuß und mit dem PKW, und einer anschließenden Rasteranalyse, konnte die derzeitige Versorgungssituation durch Nahversorger dargestellt werden. Außerdem erfolgte eine Bewertung der, für diese Analyse herangezogen, Geodaten hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit in dieser Untersuchung. Der mit dieser Untersuchung gelieferte Ansatz zur Versorgungsgradanalyse kann auch auf andere Interessensbereiche (wie z.B.: Erreichbarkeit/Versorgung von Apotheken, von Schulen, von Horten, ...) übertragen werden. Die Datengrundlage, die methodische Vorgehensweise zur Ermittlung der Einzugsbereiche, der Netzwerkanalyse und der Rasteranalyse werden genau angeführt und erläutert.

Verifikation der Auswahl von Open Source Produkten für OpenGIS Webservices

Lydia Gietler

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004
Durchgeführt an der Universität der Bundeswehr München, AGEO, Deutschland

Begutachter/Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), Prof. Dr. Wolfgang Reinhard (Universität der Bundeswehr München)

This diploma thesis describes the methods and results of a project accomplished by the authoress at the GIS Lab (AGIS) at the University of the Bundeswehr Munich. The translated name of the project is OpenGIS Concepts for Geoservices. It deals with investigations on existing OGC web service specifications and their open source implementations with regard to the special requirements of a mobile multidimensional data acquisition system based on the Internet. OpenGIS Concepts for Geoservices is part of the project Advancement of Geoservices carried out by the AGIS in cooperation with several research institutes during the period of the thesis and beyond. The project Advancement of Geoservices is sponsored by the German Federal Ministry of Education and Research. It aims to develop an overall concept for mobile online-acquisition, maintenance, usage and visualization of multidimensional geodata. The development of a prototype shows the technical feasibility of this system.

First step in the subproject OpenGIS Concepts for Geoservices is the identification of the requirements of the service. The next step is to find out which OGC web service specifications meet these requirements. A market analysis is accomplished to give an overview on available open source implementations of those OGC

web services. As an open source product which fulfills the identified requirements the product degree is chosen. A series of functional testing verifies this selection. Besides functionality the performance of a web service is an important factor to its success. To examine the performance of the chosen open source product benchmarks for OGC conformant web mapping and web feature services are developed. Up to now no such benchmarks existed. The results of the benchmarks carried out at the chosen product help to estimate the capacity of the hardware for productive use.

Identifikation von Operationen zur Nutzung Digitaler Karten

Barbara Hildegard Hofer

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Institut für Geoinformation der Technischen Universität Wien

Begutachter/Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), o.Univ.-Prof. Dr. Andrew U. Frank (TU Wien)

Die Frage, die dieser Arbeit zugrunde liegt, ist, welche Funktionen Benutzer von Karten im Internet benötigen, um Antworten auf die jeweiligen Aufgabenstellungen zu bekommen. Um diese Frage zu beantworten wird eine Analyse von Kartennutzungsoperationen durchgeführt. Die Analyse konzentriert sich auf die Nutzung von analogen topographischen Karten. Die Wahl dieses Ansatzes liegt in der langen Geschichte analoger Karten und in den daraus resultierenden durchdachten Kartennutzungsoperationen begründet. Die Autorin trifft die grundlegende Annahme, dass es eine Menge von Operationen gibt, die Kartenbenutzer sowohl mit analogen als auch mit digitalen Karten ausführen wollen.

Die Identifizierung der grundlegenden Kartennutzungsoperationen erfolgt durch eine Analyse der in der Kartographieliteratur beschriebenen Operationen. Die identifizierten Operationen können jeweils der Gruppe der Messoperationen, Operationen zur Interpretation der Topographie oder Navigationsoperationen zugeordnet werden. Eine Diskussion der einzelnen Operationen ist die Grundlage für deren Spezifikation. Für die Spezifikation der Kartennutzungsoperationen wird der Ansatz der algebraischen Spezifikation gewählt. Dieser Ansatz ist aus dem Software Engineering Bereich bekannt.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist die Spezifikation von grundlegenden Operationen, die zur Analyse von Karten benötigt werden. Die Analyse der Spezifikation der Operationen kann zur Steigerung der Nutzbarkeit von Web Mapping Applikationen beitragen, da deutlich wird, welche Informationen zum Ausführen einer Operation benötigt werden. Wenn klar ist, welche Informationen der Kartenbenutzer benötigt, kann danach gestrebt werden die Kommunikation dieser Informationen durch die von einer Applikation bereitgestellten Werkzeuge zu verbessern.

Interaktivität bei Web Clients: Editieren von Geodaten im World Wide Web

Stefan Kaps

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt bei Umweltdata Ges.m.b.H, Wien

Betreuer/Gutachter: Mag. Dr. rer.nat. Paulus Gernot (FH Technikum Kärnten), Dipl.-Ing. Hannes Burger (Umweltdata Ges.m.b.H)

Die Zahl der Karten, die im Internet präsentiert werden nimmt enorm zu. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 40 Millionen Karten weltweit täglich von Internet Nutzern aufgerufen werden. Diese Karten decken verschiedenste Wissens- und Anwendungsgebiete ab und werden dadurch nur von bestimmten Personen verwendet, für die sie von Interesse sind. Diese Diplomarbeit befasst sich einerseits mit dem Aspekt,

unterschiedliche Kartennutzer, auch unterschiedliche Werkzeuge (Funktionalitäten) benötigen, um diese für sich repräsentativ zu gestalten zu können. So werden im Zuge dieser Arbeit Gruppen von Benutzern definiert, denen bestimmte Funktionalitäten zu Verfügung stehen können, ohne den Benutzer damit zu überfordern. Besonderes Beachtung findet dabei die Funktionalität des Datenerfassens im Internet. Um diese Funktionalitäten anbieten zu können, werden Softwareprodukte benötigt, die diese bereitstellen. Anhand der g.business suite der Firma GeoTask wird veranschaulicht, wie so ein Produkt technisch aufgebaut ist. Dieses Produkt wird deshalb hier betrachtet, weil es damit möglich ist, geografische Daten im Internet zu erfassen. In weiterer Folge werden Kriterien erarbeitet, anhand denen man diese Art von Software vergleichen kann. Abschließend wird ein Vergleich zwischen der g.business suite und ArcIMS 9 der Firma ESRI durchgeführt.

GIS based generation of topographic attributes for landform classification

Bernhard Klingseisen

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Department of Geography and Anthropology, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA

Begutachter/Betreuer: Dr. Graciela Metternicht (Dept. of Spatial Sciences, Curtin University of Technology, Perth, Australia), Mag. phil. Dr. phil. Oswald Jochum (FH Technikum Kärnten)

In dieser Diplomarbeit wird eine GIS Applikation zur halbautomatischen Klassifizierung von Landform-Elementen nach den Definitionen von Speight (1990) vorgestellt. Diese Forschungsarbeit ist Teil eines Precision Farming Projektes zur Definition von Land Management Unis (LMUs) auf Basis topographischer und bodenspezifischer Parameter. Die speziell für dieses Projekt neu implementierten GeoMedia Grid

Funktionen wurden für die Berechnung topographischer Attribute wie Curvature oder Geländeneigung eingesetzt. Diese Attribute bilden die Eingangsparameter für die Klassifizierung der Landformelemente Crest, Simple Slope, Flat und Depression. Eine weitere Differenzierung der Simple Slope Zonen in Upper, Mid und Lower Slope erfolgt anhand der im Gelände berechneten Neigungswechsel. Die vorerst einzeln generierten Landform Layer werden überlagert und so zu einer einzigen Karte zusammengefasst. Die vorgeschlagene Methode wird in zwei Untersuchungsgebieten in West Australien und Oberösterreich getestet und zur Herstellung von Landformkarten eingesetzt. Die Klassifizierungsergebnisse werden im weiteren Projektverlauf für die Definition von LMUs zum Einsatz im Precision Farming verwendet.

Internet-GIS für Kommunalanwender mit Scalable Vector Graphics (SVG)

Martin Krch

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt: Intergraph (Deutschland) GmbH, Ismaning, Deutschland

Betreuer/Gutachter: Mag. Dr. rer.nat. Gernot Paulus (FH Technikum Kärnten), Dr.-Ing. Jens Hartmann (Intergraph Deutschland GmbH)

Die Diplomarbeit beschreibt die Entwicklung einer Internet-GIS-Lösung für Kommunalanwender unter Verwendung des neuen Vektorgrafikstandards Scalable Vector Graphics (SVG).

Durch die Verlagerung der kommunalen Verwaltungsverfahren auf die digitale Ebene (eGovernment) und dem damit verbundenen Rationalisierungs- und Kostensenkungsdruck steigen auch die Anforderungen an web-basierte GISLösungen. Es werden neben komplexen GIS-Analysen auch Funktionen zur Datenpflege (Erfassen und Editieren von Geodaten) gefordert und hohe Erwartungen an die kartografische Ausprägung der Karte gestellt. Auf Basis eines allgemein gültigen Anforderungskataloges, der in dieser Arbeit formuliert ist, wird der GeoMedia WebMap Publisher der Firma Intergraph zu einem Internet-GIS-Prototypen erweitert, der die Bedürfnisse des kommunalen Marktes abdeckt.

Diplomarbeit ist bis 30.11.2005 gesperrt.

GIS-gestützte dynamische 3D-Visualisierung von Planungsvarianten eines Hochwasserretentionsraumes am Oberrhein

Doris Payrer

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am WWF-Auen-Institut, Rastatt, Deutschland

Begutachter/Betreuer: Dr. Detlef-Günther Diring (WWF – Auen -Institut), Mag. Dr. rer.nat. Gernot Paulus (FH Technikum Kärnten)

Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie stehen für ein geplantes Hochwasserschutzprojekt am Oberrhein unterschiedliche topographische und thematische Datengrundlagen zur Verfügung, die mit dem Geographischen Informationssystem (GIS) TNTmips 6.8 von MicroImages Inc. aufbereitet, analysiert und dreidimensional (3D) visualisiert werden. Die Analysen umfassen eine Forstschadensklassifizierung und potenzielle Stechmückenbrutplätze im Retentionsraum.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind statische und dynamische 3D-Visualisierungen von Abflusszenarien unterschiedlicher Planungsvarianten, die mit den vorliegenden Datensätzen und Analyseergebnissen kombiniert werden. Die dynamischen 3D-Darstellungen umfassen 3D-Animationen (Geländeüberflüge, Kameraschwenks) und Überflutungssimulationen.

Die Konzeptionierung und Implementierung einer Kanalapplikation für die Stadt Villach

Volkmar Pirkopf

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004
Durchgeführt am Magistrat der Stadt Villach, Abteilung Vermessung und Geoinformation
Begutachter/Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), Dipl.-Ing. Harald Frager (Magistrat der Stadt Villach)

Betriebe bzw. Institutionen stellen fest, dass am bestehenden Markt die benötigte Software nicht zur Verfügung steht, zu umfangreich, zu minimalistisch oder zu teuer ist. Diese Angaben betreffen zum größten Teil Anwendungen, die sehr speziell zu einem Fachgebiet gehören, oder Anwendungen, die von jedem Anwender in einer anderen Form benötigt werden. Um aus diesen Umständen ein positives Resümee zu ziehen, können Anwendungen, speziell für weniger öffentlich bekannte Gebiete und auf bestimmte Anforderungen zugeschnitten, entwickelt werden. Einen Ansatz zum Entwickeln von Anwendungen nach bestimmten Vorstellungen und für spezielle Usergruppen, bietet die objektorientierte Softwareentwicklung (OOSE). Diese Theorie versteht es, unter Berücksichtigung der User, der Anforderungen und bestimmter Abläufe ein Konzept zu entwerfen, und dieses zu implementieren. In dieser Diplomarbeit wird das systematische Vorgehen der Analyse, der Konzeptionierung und der Implementierung einer Anwendung, anhand der Kanalapplikation der Stadt Villach in das Geoinformationssystem ESRI ArcGIS 8.3 betrachtet.

Dieses Projekt ist in drei Hauptteile gegliedert: die Analyse bestimmter Anforderungen und bestehender Systeme, die Konzeptionierung einzelner Anwendungen und die Implementierung der Gesamtanwendung. Die Analysephase beinhaltet zwei grobe Themenbereiche: die Erfassung und Strukturierung von Useranforderungen sowie die Recherche von Konzepten, die in bereits bestehenden Systemen verwendet werden. Die Designphase basiert auf der Analysephase und produziert Konzepte, die den vorgesehenen Anwen-

dungen entsprechen. In der Implementierungsphase werden die erzeugten Konzepte in die Realität umgesetzt. Die resultierende Applikation ist auf Grund der Realisierung der Anforderungen, den Wünschen der User angepasst und vom Funktionsrahmen bzw. der Aktualität am Stand bestehender Systeme.

Die Analyse der Useranforderungen ergibt folgende Kernaufgaben der Kanalverwaltung: Kanäle neu zu erzeugen bzw. zu bearbeiten, ASCII Punktdateien einzulesen und einen Längenschnitt eines Kanalstranges zu generieren. Damit ist es dem Benutzer erlaubt, mit dem Geoinformationssystem zu interagieren, um die für ihn nützlichen Analysen und Aktualisierungen am effektivsten durchzuführen.

Effizienzsteigerung des Sicherheitsmanagements am Spielraum durch den Einsatz von GIS

Alexandra Rieger

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004
Durchgeführt am FH Technikum Kärnten und in Kooperation mit dem Magistrat der Stadt Klagenfurt
Betreuer/Gutachter: Mag. Dr. rer.nat. Gernot Paulus und Dr. Christian Menard (beide FH Technikum Kärnten)

Laut einer Studie des Vereins Sicher Leben aus dem Jahr 2003 werden in Österreichs Krankenhäusern jährlich rund 9000 Kinder aufgrund der Verletzungen, die sie sich am Spielraum zugezogen haben, behandelt. Die meisten dieser Unfälle passieren zwar aus dem Spiel der Kinder heraus, ein erheblicher Prozentsatz der Unfälle geschieht aber aufgrund von baulichen Mängeln auf den Spielplätzen. Um Kindern ein sicheres Umfeld auf dem Spielplatz zu bieten und um Beweise für eine regelmäßige Kontrolltätigkeit bei Haftungsfragen vorlegen zu können, sind Spielplatzbetreiber rechtlich angehalten, ein Sicherheitsmanagement am Spielraum durchzuführen.

Gemeinsam mit dem Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt wurde ein GIS-gestützter Spielplatzkataster als Grundlage für ein mobiles Sicherheitsmanagement am Spielraum erstellt. Nach einer umfassenden Prozessanalyse der Kontrolltätigkeit wurde ein Workflow für die mobile Spielplatzkontrolle entwickelt und implementiert. Mit dieser für den Spielplatzbetreiber maßgeschneiderten Lösung wird das Konzept eines GIS-gestützten mobilen Sicherheitsmanagements am Spielraum effizient umgesetzt und alle Kontrollprozesse entsprechend erfasst und transparent dokumentiert.

Ein GIS als Schnittstelle zwischen internen und externen Geomarketingmodulen und Geosoftwaresprodukten

Thomas Schmit

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004
Durchgeführt bei WigeoGIS GmbH, Wien
Betreuer/Gutachter: Dipl.-Ing. Dr.techn. Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), Mag. Zoltan Daroczi (WigeoGIS GmbH)

Immer mehr Unternehmen nutzen die Chance, durch den Einsatz von Geomarketing mehr über ihre Kunden und deren räumliche Verteilung zu erfahren. Die hohen Anschaffungskosten für Hardware, Geomarketing-Software und Geodaten schrecken jedoch viele kleine und mittlere Unternehmen ab, in ihrem Betrieb Geomarketing einzusetzen. Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit einer Möglichkeit, Geomarketing kostengünstig und damit für einen breiteren Anwenderkreis zugänglich zu machen. Die Kernidee ist, Teile der Geomarketing-Software und der Geodaten bei einem Application Service Provider (ASP) zu mieten, anstatt diese zu kaufen. Der ASP stellt die Dienste zentral zur Verfügung und die Kunden greifen via Internet darauf zu. Der Kunde mietet lediglich den ASP – Zugang und profitiert gleichzeitig vom Know – how des ASP.

Bei ASP-Leistungen der Firma WIGeoGIS steht mit der Software ArcGIS von ESRI ein leistungsfähiges Kernstück im Zentrum der Lösungen. Von ArcGIS ausgehend werden immer mehr Schnittstellen zu Geomarketing – Komponenten entwickelt. Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde eine Schnittstelle zu einem Geodatenserver entwickelt. Es handelt sich dabei um den Mapserver der University of Minnesota (UMN) auf dem das Produkt WIGeoMaps, georeferenzierte Hintergrundkarten und Stadtpläne im Rasterformat, abgespeichert sind. Der Geomarketing – Kunde kann über das Internet mit ArcGIS auf die Karten zugreifen, ohne sie lokal gespeichert zu haben und erspart sich so einen Großteil der Anschaffungskosten. Die Arbeit beleuchtet die Umsetzung dieser Schnittstelle sowie die Vor – und Nachteile von ASP – Lösungen im Geomarketing.

Evaluation of new classification methods for x- and p-band SAR images

Susanne Schneider

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004
Durchgeführt am Orbisat da Amazonia SA, Remote Sensing Division, Campinas, SP, Brasil
Begutachter/Betreuer: Dipl.-Ing. Dieter Lübeck (Orbisat), Mag. Dr. rer.nat. Gernot Paulus (FH Technikum Kärnten)

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Evaluierung neuer Klassifizierungsmethoden anhand SAR Bilder des Sensors OrbiSAR-I. Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen

die Validierung und Evaluierung der Klassifikationsergebnisse.

Die Daten, die dieser Diplomarbeit zugrunde liegen, sind von dem Radarsensor OrbiSAR-I, der x- und p-Band Daten simultan aufnimmt. Die Bilder wurden im Zuge des Projektes "Cartosur II" in Venezuela aufgenommen. Das Testgebiet liegt in Zentralvenezuela am Guri Reservoir. Die Bilder haben eine Auflösung von 5m. Neben x- und p-Band Bildern stehen ein Kohärenzbild, ein digitales Höhen- und ein digitales Oberflächenmodell zur Verfügung.

Die Klassifizierungen werden in ENVI/IDL und eCognition Professional 3.0 getestet. Zwei Klassifizierungsmethoden wurden im National Institute for Space Research (INPE) in Brasilien entwickelt, wobei eine Methode mit Objekten und deren Textur arbeitet, und die andere eine zuvor durchgeführte pixel-basierte Klassifizierung verbessert. Alle Segmentierungen für die objektbasierten Klassifizierungen werden in eCognition ausgeführt. Weiters werden alle Klassifizierungsmöglichkeiten, die eCognition anbietet, getestet.

Die Bewertung der Genauigkeit der Klassifikationsergebnisse basiert auf Fehlermatrizen und den korrespondierenden Genauigkeitswerten, wie κ -Index und Gesamtgenauigkeit. Alle Fehlermatrizen werden mit denselben Trainingsgebieten erstellt, was einen Vergleich der Matrizen ermöglicht.

Wie erwartet, haben die Klassifizierungsmethoden, welche auf Objekten basieren, bessere Genauigkeitswerte als die pixel-basierten Klassifizierungsergebnisse. Vor allem die Ergebnisse der Klassifizierungen in eCognition Professional 3.0 sind erfolversprechend. Die auf Textur basierte Klassifizierungsmethode von INPE hat ebenfalls gute Ergebnisse erzielt, wie die Genauigkeits-Analysen beweisen.

Die Ergebnisse der pixel-basierten Klassifizierungsmethoden sind genau, wie die Ergebnisse der Fehlermatrizen zeigen, wobei die Klassifizierungen für den Betrachter pixelig erscheinen und eine visuelle Interpretation erschwert wird. Der Grund dafür ist der Speckle, der typisch für SAR Bilder ist und nie komplett entfernt werden kann, wenn eine pixel-basierte Klassifizierung durchgeführt wird. Das beste Klassifizierungsergebnis einer pixel-basierten Klassifizierung hat eine Gesamtgenauigkeit von 90%.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass objektbasierte Klassifizierungsmethoden bessere Resultate für die SAR Bilder des Sensors OrbiSAR-I liefern als pixel-basierte Methoden. Insbesondere ist die Software eCognition Professional 3.0 ein gutes Werkzeug um eine Klassifizierung basierend auf Objekten durchzuführen. Im Gegensatz zur Textur basierten Klassifizierungsmethode von INPE, können in eCognition Segmentierungen und Klassifizierungen durchgeführt werden. Alle berechneten Gesamtgenauigkeiten für die objektbasierten Klassifizierungen belaufen sich über 90%, wobei eine Methode sogar eine Gesamtgenauigkeit von 100% erreicht hat.

GIS-gestützte Planung von Forststrassennetzwerken

Johannes Scholz

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Studiengang Geoinformation der FH Technikum Kärnten in Kooperation mit der Österreichischen Bundesforste AG, Wien

Betreuer/Begutachter: Dipl.-Ing. Dr. Gerald Gruber (FH Technikum Kärnten), Dipl.-Ing. Peter Fürst (Österreichische Bundesforste AG)

Ziel dieser Diplomarbeit ist, einen Beitrag zur Verkürzung der derzeit üblichen Planungstätigkeit im forstlichen Straßenbau zu leisten. Um eine Strasse im Wald zu bauen, wird nach heutigem Stand der Technik das Gelände, welches erschlossen werden soll, einige Male zu Fuß erkundet. Im Anschluss daran wird versucht, eine Trassenvariante möglichst objektiv festzulegen und diese Variante in eine Karte einzutragen. Obwohl genügend Geodaten zur Verfügung stehen, um die Planung von Forststrassen zu unterstützen, werden Geographische Informationssysteme bis dato nur eingeschränkt eingesetzt.

Diese Diplomarbeit bringt drei Wissenschaftsgebiete zusammen, Forstwissenschaft, Geoinformation und Operations Research. Die zukünftige Perspektive ist, dass die Methoden dieser Wissenschaftsgebiete eingesetzt werden, um ein Spatial Decision Support System für die Planung von Forststrassennetzwerken zu entwickeln. Der Prozess der Planung von Forststrassen basiert auf Rasterdaten. Die Analyse von Geodaten liefert eine Menge von Parametern auf den einzelnen Zellen, die wesentlichen Einfluss auf die Planung der Strassen haben. Die Modellierung der zu untersuchenden Fragestellung führt auf ein graphentheoretisches Problem. Ziel von zukünftigen Untersuchungen ist es, dieses Problem mit Methoden des Operations Research zu lösen. Der Vorteil eines Spatial Decision Support Systems für die Forststrassenplanung liegt darin, dass mehrere Alternativen erstellt werden können. Außerdem können mit Spatial Decision Support Systemen Forststraßenexperten bei der Planung unterstützt werden, um fundierte und nachvollziehbare Entscheidungen zu treffen.

Entwurf eines Geodatenportals zur Vermarktung von Geodaten am Beispiel der Landeshauptstadt Klagenfurt

Martin Stirn

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt am Magistrat der Stadt Klagenfurt, Abt. Vermessung und Geoinformation

Betreuer/Begutachter: Dipl.-Ing. Dr.techn. Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), Dipl.-Ing. Günter Koren (Magistrat der Stadt Klagenfurt)

Diese Diplomarbeit beschreibt die Geodateninfrastruktur (GDI) der Landeshauptstadt (LHS) Klagenfurt,

die Entwicklung und Implementierung einer Metadatenbank (MDB) nach dem Standard 19115 der International Organisation for Standardisation (ISO) und die aktuellen Entwicklungen der österreichischen Geodatenpolitik aus der Sicht der Stadt Klagenfurt. Ziel ist es, die Vermarktung von Geodaten der LHS Klagenfurt zu verbessern und durch den Aufbau einer GDI den Markt für Geoinformationen zu stimulieren und zu aktivieren.

Die Ausarbeitung der Verbesserungspotentiale von der bestehenden GDI erfolgte anhand der Usability Engineering Methode heuristische Evaluation. Das bestehende Geodatenportal der LHS Klagenfurt und die Geodatenportale der Städte Aalen, Bern und Wien werden anhand den Usability Kriterien analysiert. Die aus der Analyse resultierenden Verbesserungspotentiale werden in das Konzept zur Neugestaltung der Einstiegsseite des Geodatenportals und des Geodatenportals selbst, miteinbezogen.

Um die Datenorganisation weiterhin im Griff zu haben, werden Metadaten erstellt die Auskunft über die am Magistrat der LHS Klagenfurt vorhandenen Geodaten geben. Ziel der Arbeit ist es, ein Metadatenmodell zu erstellen und dieses in einer Datenbank umzusetzen. Die Ausarbeitung der Kriterien zur Auswahl der Metadatenelemente erfolgt nach einer Analyse der vorhandenen Datensätze in der Abt. VM & GI. Der Inhalt muss standardisierten Qualitätsmerkmalen entsprechen, welche in der Abt. VM & GI unter Anwendung der Norm ISO 19115 definiert wurden.

Handbuch zum WebGIS für Kommunen

Kerstin Stupnik

Diplomarbeit: Studiengang Geoinformation, Fachhochschule Technikum Kärnten, 2004

Durchgeführt bei traffic information and management GmbH, Rodgau, Deutschland

Betreuer/Gutachter: Dipl.-Ing. Dr.techn. Adrijana Car (FH Technikum Kärnten), Dr. Hermann Grünfeld (traffic information and management GmbH)

Anhand der Demonstrationen von KomuWeb Demoprojekt Hausen ist gezeigt, dass open-source Web Services Softwarebestandteile eines WebGIS sein können. Diese Diplomarbeit untersucht die Möglichkeit, ein Handbuch als Ergänzung zu den Demonstrationen von KomuWeb Demoprojekt Hausen zu erstellen. Das Handbuch informiert kommunale Entscheidungsträger im Allgemeinen über die WebServices, Web Map Service (WMS) sowie Web Feature Service (WFS), und WebGIS, und spezifisch über KomuWeb WebGIS. Letzteres ist eine Dienstleistung der Firma traffic information and management GmbH (tim GmbH), und kann von jeder Kommune unabhängig von anderen GIS (geografischen Informationssystemen) eingesetzt werden. Das Zielpublikum dieser Diplomarbeit sind Personen mit GIS-Basiskenntnissen, die an der Entwicklung eines Handbuches interessiert sind. Die Methode der Handbuch-Entwicklung besteht aus folgenden Punkten:

Vorgaben und Anregungen des Auftraggebers – v.a. mögliche Kapitel für das Handbuch

Die vom Auftraggeber (tim GmbH) vorgeschlagenen, möglichen Handbuchkapitel werden thematisch den von der Autorin festgelegten Themengebieten für das Handbuch zugeordnet.

Literaturquellen zu verschiedenen Sachgebieten

Zu den Themengebieten werden anhand der zugeordneten Handbuchkapitel Literaturquellen gesucht, mit welchen Informationen über den Inhalt des Handbuches generiert werden können. Teilweise sind bereits Literaturquellen generiert, da auch für den Lösungsansatz des technischen KomuWeb-Entwurfes Literatur herangezogen wurde.

Lösungsansatz des technischen KomuWeb-Entwurfes

Der Lösungsansatz des technischen KomuWeb-Entwurfes beinhaltet Informationen zu Konzept, Methode und Werkzeugen, mit Fokus auf WMS und WFS. Aufbauend auf dem Lösungsansatz des technischen KomuWeb-Entwurfes wurde die Projektrealisierung des WebGIS KomuWeb durchgeführt, die im KomuWeb-Projektrahmen erläutert ist.

KomuWeb-Projektrahmen und Erfahrungen der Autorin während der Projektdurchführung.

Der KomuWeb-Projektrahmen informiert über alle Softwarekomponenten, die für die Implementierung von KomuWeb Demoprojekt Hausen herangezogen wurden, wie z.B. über die Datenbank PostgreSQL. Anhand der während der Projektdurchführung erworbenen Erfahrungen der Autorin können weitere Informationen für das Handbuch generiert werden, wie z.B. die Parameterangaben einer WMS-Anfrage.

Um von der Methode zur Implementierung zu gelangen, werden je Themengebiet die aus den vier Punkten generierten Informationen zusammengefasst. Während der Anwendung der Methode je Themengebiet ist erkennbar, dass für ein Themengebiet ein zusätzlicher Punkt in die Methode miteinzubeziehen ist. Die endgültigen Kapitelnamen werden nach der Implementierung der Themengebiete festgelegt. Die Effizienz der angewandten Methode für dieses Handbuch und Richtlinien zur Erstellung anderer Handbücher anhand dieser Methode werden aufgezeigt.

Recht und Gesetz

*Zusammengestellt und bearbeitet von Univ.-Doz.
Dipl.-Ing. Dr.jur. Christoph Twaroch*

Novellierung des Luftfahrtgesetzes

Bewilligungsfreie Herstellung und Verwendung von Luftbild- und Messungsaufnahmen

Im Bundesgesetzblatt BGBl. I Nr. 173/2004, ausgegeben am 30. Dezember 2004, wurde das Bundesgesetz, mit dem das Luftfahrtgesetz, das Bundesgesetz über die Austro Control Gesellschaft mit beschränkter Haftung und das Bundesgesetz über den zwischenstaatlichen Luftverkehr 1997 geändert werden, kundgemacht.

Mit diesem Bundesgesetz wurde auch § 130 des Luftfahrtgesetzes novelliert. Im Sinne einer Verwaltungsvereinfachung und des Abbaus von Hemmnissen für die Wirtschaft wurde die generelle Genehmigungspflicht für die Verbreitung von Luftbildaufnahmen gestrichen. Im Abs. 3 entfällt die Verpflichtung zur Herstellung des Einvernehmens mit dem Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit bei Messungsaufnahmen.

Für einen Teil dieser Genehmigungen ("Messungsflugaufnahmen") war bis 1992 das Wirtschaftsministerium (damals noch Bundesministerium für Bauten und Technik) federführend zuständig. Langjährige Bemühungen des Wirtschaftsministeriums um einen Entfall dieser Bewilligungspflicht führten 1992 zu einer Erleichterung insoweit, dass das Herstellen der Messungsaufnahmen bewilligungsfrei wurde und nur das Verwenden (Veröffentlichen) der Messungsaufnahmen weiterhin einer Bewilligung bedurfte.

Die in den erwähnten Bestimmungen geregelten Bewilligungspflichten für Luftbildaufnahmen sind angesichts des heutigen Standes der Satellitentechnik als überholt anzusehen. Auch unter dem Aspekt der derzeitigen europäischen Sicherheitskonzeption war ein Festhalten an diesen Bewilligungspflichten nicht mehr gerechtfertigt. Aus diesen Gründen hat auch die Aufgabenreformkommission in ihrem Bericht vom März 2001 (Raschauer-Bericht, Abschnitt II, Pkt. 12, Seite 98) festgestellt, dass die in § 130 Luftfahrtgesetz statuierten Bewilligungspflichten für Luftbildaufnahmen im Bundesgebiet zur Gänze entfallen können.

In Deutschland wurde die Rechtsgrundlage für die behördliche Erlaubnis zum Aufnehmen und In-Verkehr-Bringen von Luftbildern (nämlich § 27 Abs. 2 des deutschen Luftverkehrsgesetzes) bereits im Jahr 1990 aufgehoben und das verwaltungsrechtliche Freigabeverfahren für flugzeuggestützte Luftbilder aufgegeben, weil es seinen ursprünglichen sicherheitstechnischen Zweck in Anbetracht der internationalen Entwicklung auf dem Gebiet der Satelliten-Fernerkundung nur noch bedingt erfüllen konnte.

Soweit dies zur Wahrung wichtiger militärischer Interessen erforderlich ist, kann der Bundesminister für Landesverteidigung nach den nunmehr geltenden Bestimmungen des § 130 des Luftfahrtgesetzes bei einem Einsatz im Rahmen der militärischen Landesverteidigung sowie bei der Vorbereitung eines solchen Einsatzes die Herstellung von Luftbildaufnahmen durch Verordnung verbieten und Beschränkungen für die Verbreitung von Luftbildaufnahmen festlegen.

Mitteilungen und Tagungsberichte

XX. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) vom 14. – 23. Juli 2004 in Istanbul

Die Aktivitäten in Photogrammetrie sind auf einen Vier-Jahreszyklus ausgelegt, die der Fernerkundung weniger. Die Fernerkundung benutzt nämlich die ISPRS nur teilweise als ihre Dachorganisation. Das Großereignis im Vier-Jahreszyklus ist der Internationale Kongress mit 2000 bis 3000 Teilnehmern. In Fortsetzung der letzten Veranstaltungsorte Washington (1992), Wien (1996) und Amsterdam (2000) hat die Türkische Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung den Kongress in Istanbul unter dem Motto¹⁾ (*Geo-Imagery Bridging Continents*) veranstaltet.

Es war eine großartige Veranstaltung im Kongress- und Ausstellungszentrum Istanbul-Harbiye, auf der Europäischen Seite des Bosphorus gelegen. Die große thematische Breite des Kongresses widerspiegeln die Titel der 9 Vorträge in den drei Plenarveranstaltungen:

- From 2.5D Mapping to 3D Modelling. Photogrammetry: A Technology Whose Time Has Come (A. Gruen, ETH Zürich, Schweiz).
- Microsatellite Constellations Enabling Rapid Revisit Earth Observation (M. Sweeting, University of Surrey, England).
- Geographic Knowledge and What It Means to Geographic Professionals (J. Dangermond, ESRI, USA).
- From Robot Vision to Multi-sensory 3D World Modelling (G. Hirzinger, DLR, Deutschland).
- The Digital Deluge, Drowning or Navigating? (P. Woodsford, EuroSDR, England).
- NASA's Earth Science Enterprise: Understanding and Protecting Our Home Planet (G. Asrar, NASA, USA).
- Capacity Building for the Global Geo-Information Community – An ITC Perspective (M. Molenaar, ITC, Holland).
- The Athena Mars Rover Science (S. Squyres, NASA, USA).
- The High Resolution Stereo Camera (HRSC) Experiment on the ESA Mars Express Mission (G. Neukum, ESA, Deutschland).
- Insgesamt wurden ca. 1500 Beiträge in technischen Sitzungen und in Posterpräsentationen vorgetragen. In der Ausstellung waren ca. 60 Firmen und zusätzlich etwa 25 nicht kommerzielle Organisationen vertreten.

Im Folgenden werden einige Schlaglichter und Entscheidungen herausgegriffen, die aus österreichischer Sicht von Interesse sind.

1. Ausstellung

In der Ausstellung waren zwei österreichische Firmen prominent vertreten. Die eine Firma war Vexcel Corporation (Prof. Leberl, Graz). Diese Firma ist sehr erfolgreich in Konkurrenz zu den beiden anderen Firmen (Leica Geosystems und Z/I Imaging Intergraph), die ebenfalls Kameras für großformatige digitale Luftaufnahmen in einer Qualität anbieten, die der analogen Aufnahmetechnik sehr nahe kommt. Die inzwischen erreichten Verkaufszahlen bei jeder der drei Firmen liegen zwischen 10 und 25 Kameras, wobei die Firma Vexcel einen sehr großen Anteil für sich reklamiert.

Die zweite österreichische Firma war die Riegl Laser Measurement Systems GmbH aus Horn, Niederösterreich. Sie hat vor allem ihre große Palette von terrestrischen Laserscannern ausgestellt, die teilweise mit einer photogrammetrischen Kamera gekoppelt sind.

2. Auszeichnungen

Die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation verleiht anlässlich des jeweiligen ISPRS-Kongresses den sogenannten Dolezal-Preis. Das soll einerseits an den Gründer der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, der Vorgängerorganisation der ISPRS, erinnern, andererseits sollen für herausragende Teilnehmer aus den Reform- und/oder Entwicklungsländern die Reise- und Aufenthaltskosten übernommen werden. Für den Istanbul-Kongress erhielt Frau Dr. Jiang Jie, China, den Dolezal-Preis.

Aus dem *ISPRS-Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, eine Zeitschrift mit einem aufwändigen Begutachtungsverfahren für die publizierten Artikel, wählt eine fünf-köpfige Jury die beste Publikation des jeweiligen Jahrganges aus. Für das Kalenderjahr 2001 hat Dr. M. Kerschner, ehemaliger Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, gegenwärtig Mitarbeiter bei der Firma GeoData IT GmbH, diese Auszeichnung für den Aufsatz „*Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes*“ erhalten. Bei der Generalversammlung in Istanbul wurde dieser Preis überreicht.

Die ISPRS fördert mit der Initiative „*Young author – best paper*“ Wissenschaftler, die jünger als 30 Jahre sind. Von den eingereichten Beiträgen wurden die besten acht ausgewählt. Erfreulicherweise ist darunter auch ein Österreicher, Herr Dr. C. Ressler, Universitätsassistent am Institut für Photogrammetrie und Ferner-

1) Der Berichtersteller hat dieses Motto gemeinsam mit Prof. Josef Jansa in einer Diskussion mit dem Kongressdirektor der Istanbul-Veranstaltung, Prof. Orhan Altan, kreiert.

kundung der TU Wien. Sein Beitrag wird demnächst im *ISPRS-Journal* in erweiterter Fassung publiziert werden.

3. Registrierung der ISPRS

Bekanntlich wurde im Jahr 1910 die Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie an der Technischen Hochschule Wien von Eduard Dolezal gegründet und als internationale Vereinigung in Wien registriert. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden von der ISPRS vereinsrelevante Mitteilungen (Wahl des Präsidenten, Budget etc.) an die Vereinsbehörde nicht abgegeben, sodass die Registrierung erloschen ist. In der Periode 2000 – 2004 hat sich der ISPRS-Vereinsvorstand wieder um eine Registrierung bemüht. Unter anderem hat der Präsident, Prof. Trinder, auch mit uns diesbezüglich Verbindung aufgenommen. In Rücksprache mit der Wiener Vereinsbehörde kamen wir zu dem Ergebnis, dass dafür ein Beschluss der Generalversammlung der ISPRS erforderlich sei. Man hätte also erst eine Registrierung nach einem entsprechenden Votum bei der Generalversammlung in Istanbul vornehmen können.

Dieses Verfahren war dem Vorstand zu langwierig. Er hat – insbesondere durch die Bemühungen des Vizepräsidenten Lawrence Fritz – im April 2002 die ISPRS in Maryland, USA, registrieren lassen, und zwar ohne Zustimmung der Generalversammlung. Für die nachträgliche Rechtfertigung hat der Vorstand bei der Generalversammlung 2004 in Istanbul im Wesentlichen folgende Argumente vorgebracht:

1. Die Registrierung in Maryland sei ohne Änderung der Statuten möglich gewesen.
2. Die ISPRS-Generalversammlung hätte den Vorstand mit der Annahme des sogenannten „*Strategic Plan*“ auf der Generalversammlung 2000 in Amsterdam auch für eine Registrierung autorisiert.
3. Die von der Österreichischen Vereinsbehörde vorgeschriebene deutsche Sprache sei ein sehr großes Hindernis.

Dazu hat der Berichterstatter folgende Gegenargumente bei der Generalversammlung in Istanbul vorgetragen:

zu 1.: Mit einer Registrierung stellt man einen Verein unter das Gesetz des jeweiligen Staates. Das Österreichische Vereinsgesetz ist sehr tolerant und liberal (kein Österreicher muss im Vorstand sein, Bankkonten können auch außerhalb Österreichs eingerichtet werden). Über das für Maryland geltende Vereinsgesetz hat man nichts erfahren. Eine Registrierung ohne Änderung der Statuten ist für ein „natürliches“ Rechtsempfinden undenkbar.

zu 2.: Im „*Strategic Plan*“ konnte leider die erwähnte Ermächtigung nicht gefunden werden (Internationales Archiv für Photogrammetrie, Fernerkundung und raumbezogene Informationswissenschaften, Band XXXIII,

Teil A, S. 116-122, Amsterdam, 2000). Sie war scheinbar nur in einem ergänzenden Schriftstück zum „*Strategic Plan*“ enthalten.

zu 3.: Der Vorstand und die technischen Kommissionen könnten nach wie vor in englischer Sprache agieren. Lediglich die vereinsrelevanten Mitteilungen müssten in deutscher Sprache der Vereinsbehörde vorgelegt werden. Dafür hat sich das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien bereit erklärt.

Die Abstimmung in Istanbul war im Wesentlichen aus folgenden Gründen nicht fair:

Die Diskussion über die Registrierung wurde mit dem Tagesordnungspunkt, der die Errichtung einer Stiftung zum Inhalt hatte, verwoben. Die Stiftung wurde vor dem Istanbul Kongress bereits in Maryland etabliert; es wurde von beachtlichen Spenden gesprochen. Außerdem wurde verkündet, dass mit einer Ablehnung der ISPRS-Registrierung in Maryland auch die Stiftung nicht mehr existieren könnte.

Mit dem Berichterstatter wurde einige Wochen vor der Generalversammlung mündlich vereinbart, dass es eine Abstimmung „Registrierung in Maryland“ oder „Registrierung in Wien“ geben würde. Die tatsächliche Abstimmung wurde dagegen mehr als ein Vertrauensvotum für oder gegen den Vorstand formuliert.

Die Abstimmung ergab, dass mit 104 gegen 44 Stimmen die vom Vorstand gesetzten Schritte nachträglich gutgeheißen wurden.

Als Trostpflaster für Österreich hat man bei den später behandelten Änderungen der Statuten in den § (1) aufgenommen, dass die Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie 1910 in Österreich gegründet wurde.

4. Arbeitsperiode 2004 bis 2008

Als Austragungsort für den XXI. Kongress der ISPRS wurde Beijing, China, gewählt, und zwar in der Zeit vom 14. – 25. Juli 2008. Prof. Jun Chen wird Kongressdirektor sein.

Die acht Kommissionen haben folgende Bezeichnungen und folgende Präsidenten:

- Kommission I: Image Data Acquisition-Sensors and Platforms (A. Baudoin, Frankreich).
- Kommission II: Theory and Concepts of Spatio-temporal Data Handling and Information (W. Kainz, Österreich).
- Kommission III: Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis (W. Förstner, Deutschland).
- Kommission IV: Geodatabases and Digital Mapping (Sh. Nayak, Indien).

- Kommission V: Close-Range-Sensing – Analysis and Applications (H.G. Maas, Deutschland).
- Kommission VI: Education and Outreach (K. Cho, Japan).
- Kommission VII: Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remotely Sensed Data (J. van Genderen, Holland).
- Kommission VIII: Remote Sensing Applications and Policies (A. Peled, Israel).

Erfreulicherweise ist Prof. Kainz von der Universität Wien einer der Kommissionspräsidenten. Er wird im Jahr 2006 das sogenannte Zwischensymposium in Wien veranstalten. Die Kommissionen unterteilen sich in sogenannte Arbeitsgruppen. Zwei dieser Arbeitsgruppen der Kommission III werden von Mitarbeitern des

Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien geleitet:

- Dr. Ressler: Automatic Calibration and Orientation of Optical Cameras.
- Dr. Rottensteiner: Image Interpretation for City-Modeling.

Schlussbemerkung

Die unangenehme Entscheidung hinsichtlich der Registrierung der ISPRS hat sicherlich nur im Atmosphärischen negative Auswirkungen. Die Wissenschaftler, Anwender und Firmen sind davon völlig unberührt. Für sie bleibt die ISPRS eine sehr attraktive Plattform. Österreich wird dazu – wie bisher – einen konstruktiven Beitrag leisten.

Karl Kraus

Veranstungskalender

Informationsveranstaltung: Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung

6. April 2005 München, Deutschland
 Fax: +49 (0)89 - 2129 1324
www.geodaten.bayern.de/bvv_web/geodatenonline/fachanwender/infoverm2005_start.html

GeoForum MV 2005

13. – 14. April 2005 Rostock-Warnemünde, Deutschland
 Internet: www.geomv.de

FIG Working Week 2005 and GSDI-8 – From Pharaohs to Geoinformatics

16. – 21. April 2005 Kairo, Ägypten
 Internet: www.fig.net/cairo/

GEO-SIBERIA – The First International Exhibition and Congress of Geodesy, Cartography, Geology, Geophysics, etc.

27. – 29. April 2005 Novosibirsk, Russland

ISPRS Hannover Workshop 2005 “High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information“

17. – 20. Mai 2005 Hannover, Deutschland
www.ipi.uni-hannover.de/ISPRS_workshop_05/

Internationaler Workshop: Next Generation 3D City Models

21. – 22. Juni 2005 Bonn, Deutschland
 Internet: www.ikg.uni-bonn.de/NextGen3DCity/

AGIT 2005 – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik

6. – 8. Juli 2005 Salzburg, Österreich
 Internet: www.agit.at/

International Cartographic Conference Mapping Approaches into a Changing World

9. – 16. Juli 2005 A Coruna, Spanien
 Internet: www.icc2005.org

ISPRS-Workshop: Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms, and Evaluation

29. – 30. August 2005 Wien, Österreich
 e-mail: f.rottensteiner@unsw.edu.au oder stilla@bv.tu-muenchen.de
 Internet: www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05

Africa GIS 2005

29. August – 2. September 2005 Johannesburg, Südafrika
 Tel: +27 (11) 324 3800
 Fax: +27 (83) 601 7646
 e-mail: fduplessis@openspatial.co.za
 Internet: www.africagis2005.org

Photogrammetrische Woche 2005

5. – 9. September 2005 Stuttgart, Deutschland
www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html

9th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries

18. – 23. September 2005 Wien, Österreich
 Tel: +43 1 58801 188 01
 Fax: +43 1 58801 188 99
 e-mail: ecdl@ecdl2005.org
 Internet: www.ecdl2005.org/

7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques

3. – 5. Oktober 2005 Wien, Österreich
 Tel.: +43 / 1 / 58801 - 12804
 Fax: +43 / 1 / 58801 - 12894
 e-mail: conf@pop.tuwien.ac.at
 Internet: info.tuwien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm

INTERGEO 2005

4. – 6. Oktober 2005 Düsseldorf, Deutschland
 Internet: www.intergeo2005.de/

Hochschullehrgang: Laserscanning – Data Acquisition and Modeling

6. – 7. Oktober 2005 Wien, Österreich
 Tel: +43 1 58801-12201
 Fax: +43 1 58801-12299
 e-mail: mbox@ipf.tuwien.ac.at
www.ipf.tuwien.ac.at/events/unil_laser_2005.html/

Semesterprogramm Sommer 2005

Graz

Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie,
Institut für Geoinformation, Technische Universität Graz
und
Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation

- Mittwoch,**
16. März 2005
17 Uhr 15
- Potentiale und Probleme beim Einsatz des faseroptischen SOFO Messsystems zur ingenieurgeodätischen Überwachung**
- Dipl.-Ing. Werner LIENHART*
TU Graz, Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme
- Mittwoch,**
20. April 2005
17 Uhr 15
- Photogrammetrie und Fernerkundung beim BEV**
- HR Dipl.-Ing. Michael FRANZEN*
Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Wien
- Mittwoch,**
18. Mai 2005
17 Uhr 15
- Effiziente Aufnahme des Straßenraumes durch mobiles 3D-Laserscanning mit dem CityGrid-Scanner**
- Dr. Gerald FORKERT*
GEODATA IT
- Mittwoch,**
15. Juni 2005
17 Uhr 15
- Eine Internet-GIS-Plattform für das Projekt 'Energierregion Oststeiermark' – Konzeption und Implementierung**
- Mag. Martin AUER*
Lehr- und Forschungszentrum Rottenmann

Alle Veranstaltungen finden auf der TU Graz Steyrergasse 30,
Parterre, Hörsaal AE01, statt.

Die Vortragsreihe wird in Kooperation mit dem Institut für Geographie und Raumforschung der
Karl Franzens Universität Graz abgehalten.

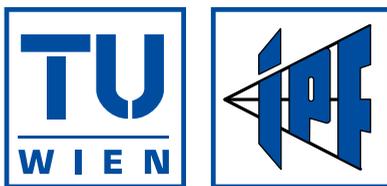
Semesterprogramm Sommer 2005

Innsbruck

Institut für Geodäsie, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
und
Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation

- Donnerstag,**
10. März 2005,
18 Uhr 15
ab 15 Uhr
Firmenpräsentation im
Seminarraum des Instituts
- Software für die Gebäudedatenerfassung- Tachymetrie,
Handaufmaß, Photogrammetrie, Laserscanning**
Dipl.-Ing. Matthias KOKSCH
kubit GmbH, Dresden
- Donnerstag,**
14. April 2005,
18 Uhr 15
- Überlegungen zum Aufbau von Geoinformationsdiensten für
das Tirol-Marketing und Gewerbeansiedlungen**
Dipl.-Ing. Manfred RIEDL
Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Raumordnung-Statistik,
TIRIS
- Donnerstag,**
12. Mai 2005,
18 Uhr 15
- Vermessungsaufgaben in der ÖBB-Infrastruktur Bau AG**
Dipl.-Ing. Arnold EDER
ÖBB-Infrastruktur Bau AG
- Donnerstag**
16. Juni 2005
16 Uhr 30
- Airborne Laserscanning**
**Full Waveform Analysis in Airborne Laser Scanning,
RIEGL LMS-Q560, Prinzip, Vorteile und Beispiele**
Dr. Andreas ULLRICH
RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
- 16 Uhr 50
- Laserscannermessungen mit den ALTM**
Dr. Joachim LINDENBERGER
TopScan GmbH
- 17 Uhr 10
- Verwendung von Laserscannerdaten im alpinen Raum**
Prof. Dr. Mathias SCHARDT
Inst. f. Fernerkundung u. Photogrammetrie TU Graz
- 17 Uhr 50
- Prinzip des flugzeuggetragenen Laserscannings und
seine Anwendungsmöglichkeiten**
Prof. Dr. Karl KRAUS
Inst. f. Photogrammetrie u. Fernerkundung, TU Wien
- 18 Uhr 10
- Einsatz von Airborne-Laserscanning in der Landesverwaltung zur
Erzeugung von universellen Geobasisdatensätzen — Die Kombination
mit digitalen Orthofotos als eine universelle Planungs- und
Entscheidungsgrundlage**
DI Martin SEEBACHER
LVA Feldkirch

Alle Vorträge finden am Institut für Geodäsie, Hörsaal 7. Stock, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, statt.



University Course

Laserscanning

Data Acquisition and Modeling

Time: 6. and 7. October 2005

Location: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing,
Gusshausstrasse 27-29, 3rd floor,
1040 Vienna, AUSTRIA

MOTIVATION: Laser Scanning has become a rapidly expanding discipline for acquiring the metrics of object surfaces. Airborne laser scanners are used for the reconstruction of terrain surfaces, city areas, vegetation, and powerlines. Terrestrial scanning techniques have successfully been applied to archaeological sites, works of art, building facades and architectural objects. Laser scanners deliver huge point clouds, from which (dependent on the respective application) relevant information has to be extracted (such as breaklines of embankments or CAD models of buildings). The Institute of Photogrammetry and Remote Sensing (I.P.F.) at the Vienna University of Technology has been engaged in basic research in the field of laser scanning for years and is cooperating with private partners through extensive pilot projects. Interesting topics of research evolved from the new technology of full wave laser scanning. Basic research and the before mentioned pilot projects are to a high extent driven by private partners who are members of the Christian Doppler Laboratory (CD-L) which is associated to I.P.F. since 1 December 2003.

TRAGET GROUPS: Graduates from civil engineering, environmental engineering, geodesy and geoinformation, geoinformatics, geo-sciences, agricultural and forest sciences, regional and landscape planning, surveying. Studies may have been carried out at a domestic or foreign university.

FEES: For registration before 1 Aug 2005 the fee will be € 260.00, thereafter € 290.00. For participants under the age of 27 a fee reduced by 50% applies. Handouts are included.

Institute of Photogrammetry and Remote Sensing
Vienna University of Technology
Gusshausstrasse 27-29/E122
A-1040 Vienna
Tel: +43 1 58801-12201
Fax: +43 1 58801-12299
Internet: <http://www.ipf.tuwien.ac.at>
Email: mbox@ipf.tuwien.ac.at

**Auf diesem Straßenabschnitt wurde
der Geschwindigkeitsrekord nicht
von einem Sportwagen aufgestellt,
sondern von einem Vermesser.**



Geodaesie Austria
Steinerstrasse 2e
A-4400 Steyr
Tel. 07252 87 165-0
Fax 07252 87 165 40

Es ist erstaunlich, welche Geschwindigkeiten auf einem Straßenabschnitt wie diesem erzielt werden können.

Vor allem, wenn der Vermesser die Möglichkeit hat, mit einer kompletten Vermessungslösung von Trimble zu arbeiten. Eine einheitliche Benutzeroberfläche und integrierte Daten gewährleisten die Interaktion unserer robusten und dennoch leichten Produkte. Sie vereinfachen Ihre Arbeitsabläufe, steigern Ihre Produktivität, verringern die Einarbeitungszeit.

Weitere Informationen darüber, warum Sie Trimble wählen sollten, finden Sie unter www.trimble.de



 **Trimble**

*Technology Solutions for
the Right Place and Time*

www.trimble.de