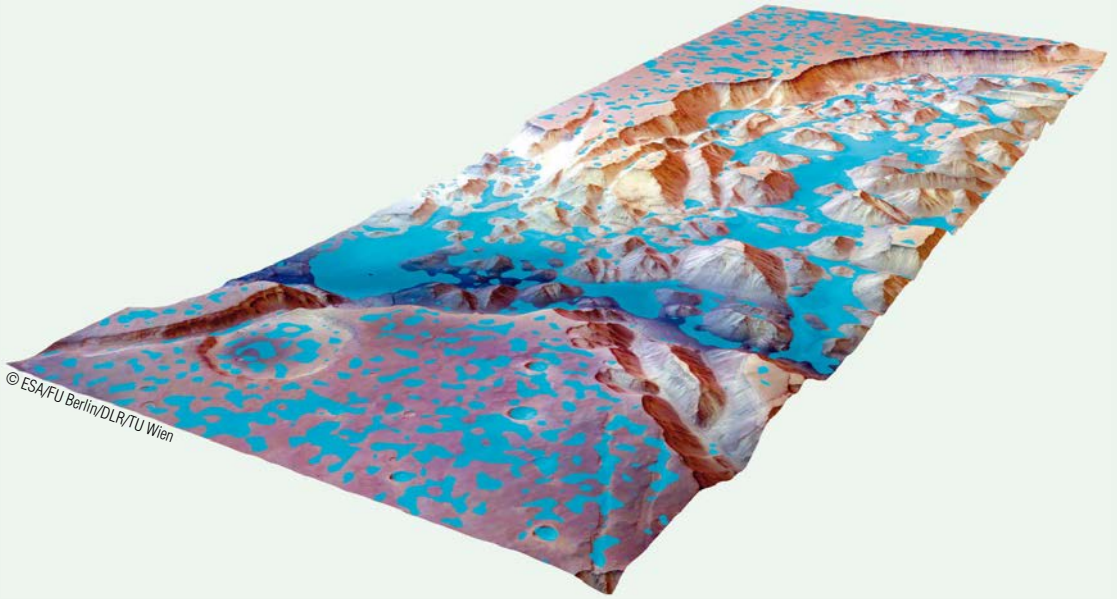


93. Jahrgang Heft 2/2005

Österreichische Zeitschrift für

**vgi**

**Vermessung &  
Geoinformation**



© ESA/FU Berlin/DLR/TU Wien

***Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie  
am Beispiel des Planeten Mars***

*P. Dorninger*

***Untersuchungen zur GPS/INS-Integration***

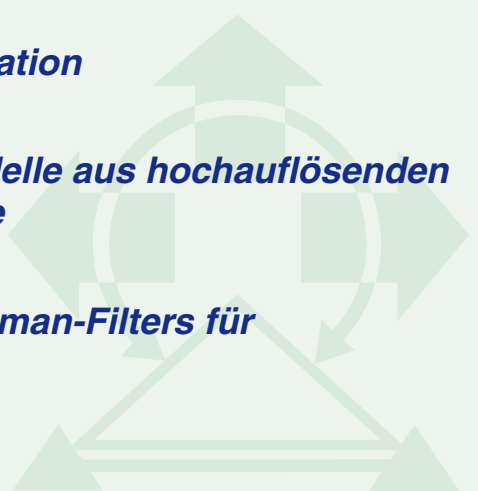
*K. Legat*

***Herleitung digitaler Oberflächenmodelle aus hochauflösenden  
Stereo-Bilddaten im alpinen Gelände***

*K.H. Gutjahr, H. Raggam, M. Franke*

***Konzept eines wissensbasierten Kalman-Filters für  
die Fußgängerortung (WiKaF)***

*M. Thienelt, A. Eichhorn, A. Reiterer*





Österreichische Zeitschrift für  
**Vermessung &  
Geoinformation**

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

93. Jahrgang 2005

Heft: 2/2005

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>

*P. Dorninger:*

**Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie  
am Beispiel des Planeten Mars** 59

*K. Legat:*

**Untersuchungen zur GPS/INS-Integration** 72

*K.H. Gutjahr, H. Raggam, M. Franke:*

**Herleitung digitaler Oberflächenmodelle aus hochauflösenden  
Stereo-Bilddaten im alpinen Gelände** 83

*M. Thienelt, A. Eichhorn, A. Reiterer:*

**Konzept eines wissensbasierten Kalman-Filters für die  
Fußgängerortung (WiKaF)** 96

**Dissertationen und Diplomarbeiten** 105

**Recht und Gesetz** 111

**Veranstaltungskalender** 114

**Mitteilungen und Tagungsberichte** 115

**Persönliches** 118

**Titelbild:** Analyse der Marsoberfläche an Hand von Daten der High Resolution Stereo Camera (HRSC) on Mars Express (Projektleitung/Hauptexperimentator: Prof. G. Neukum, Freie Universität Berlin).  
Abbildung 11a aus dem Hauptartikel P. Dorninger: „Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie am Beispiel des Planeten Mars“ © ESA/FU Berlin/DLR/TU Wien

# Impressum



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

93. Jahrgang 2005 / 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: 1200 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. OVG-Mitglieder 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.



## Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie am Beispiel des Planeten Mars

Peter Dorninger, Wien

### Zusammenfassung

Die *High Resolution Stereo Camera (HRSC)* ist Bestandteil der europäischen Sonde *Mars Express*. Das *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.)* der *TU Wien* ist durch Prof. Kraus als Co-Investigator an der Projektgruppe „*HRSC on Mars Express*“ beteiligt. Im Rahmen der Vorbereitung der Mission wurden bereits vorhandene Geländedaten der Marsoberfläche untersucht. Zur weiterführenden Analyse und Visualisierung wurden qualitativ hochwertige Geländemodelle abgeleitet. Um in den Datensätzen enthaltene fehlerhafte Messungen aufzufinden, wurde eine Klassifizierungsmethode entwickelt. Diese operiert ähnlich den beim Airborne Laserscanning angewandten hierarchischen, robusten Methoden zur Unterscheidung von Gelände- und Nicht-Geländepunkten. Nach einer kurzen Vorstellung der Ziele derzeitiger Marsmissionen wird diese Methode näher beschrieben. Basierend auf den abgeleiteten Geländemodellen wird die Anwendung rasterbasierter, hydrologischer Analysemethoden erklärt. Die erzielten Ergebnisse unterstützen Geologen und Hydrologen bei der Entschlüsselung der Entstehungsgeschichte von Gebieten, welche in früheren Zeiten möglicherweise durch Oberflächenwasser geformt wurden. Ergebnisse der Anwendung der hydrologischen Analysen in drei verschiedenen Gebieten der Marsoberfläche werden präsentiert. Abschließend wird ein Überblick über die aktuellen, marsrelevanten Forschungstätigkeiten am I.P.F. gegeben. Der Mittelpunkt des Interesses liegt in der Entwicklung einer Methode zur qualitativen Verbesserung von aus HRSC-Punktwolken abgeleiteten Geländemodellen.

### Abstract

The *High Resolution Stereo Camera (HRSC)* is part of the European Mission *Mars Express*. The *Institute of Photogrammetry and Remote Sensing (I.P.F.)* at the *Vienna University of Technology* is participating in the project group „*HRSC on Mars Express*“ by Prof. Kraus as Co-Investigator. During the preparation phase of the mission, already available terrain datasets of the Mars surface have been investigated. To derive high quality digital terrain models for further analysis and visualization, a classification method has been developed to detect and eliminate gross erroneous measurements. This method operates similar to the hierarchical, robust methods for classification of Airborne Laserscanning data in terrain and off-terrain points.

After a short description of the aims of current Mars missions, this method is described in detail. Based on the derived terrain models, the application of raster-based, hydrological analysis methods is presented. These methods bear a high potential to support geologists and hydrologists in their investigations of topographic areas which are likely to have been formed by former fluvial processes. Results of the application of this hydrological analysis methods in three different areas are presented.

Finally, an overview on the current Mars related research activities of the I.P.F. concerning the qualitative improvement of Mars terrain models derived from HRSC point clouds is given.

### Vorwort zum Karl-Neumaier-Stipendium

Am Anfang sind einige biografische Angaben zu Ing. Dr.techn. h.c. Karl Neumaier angebracht. Er wurde am 12. Januar 1898 in Wien geboren. Er absolvierte in den Jahren 1918 bis 1920 den Kurs für „Heranbildung von Vermessungsgeometern“ an der TH Wien. 1926 war er Assistent an der Lehrkanzel für Katasterwesen. Ab 1929 war Karl Neumaier mit der Einführung der Methoden der Luftbildvermessung für die kartographischen und topographischen Vermessungen in China betraut. Ab 1935 hat er Vorlesungen über Luftbildvermessung an der englischsprachigen Chiao-Tung-Universität in Shanghai gehalten. Nach dem Zweiten Weltkrieg war er Leiter der Gruppe Landesaufnahme am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV). Am 1.1.1960 wurde Karl Neumaier zum Präsidenten des BEV ernannt.

Anlässlich seines 80. Geburtstages hat das Institut für Photogrammetrie an der TU Wien eine Feier veranstaltet und anschließend daran eine ihm gewidmete Geowissenschaftliche Mitteilung (Heft 13) herausgebracht. Altpräsident F. Eidherr hat bei dieser Gelegenheit folgendes gesagt bzw. geschrieben: „Neumaier bleibt der ewig Junge, weder sein Feuergeist, noch seine jugendliche Seele wurden durch die Jahre gedämpft. Er ist heute noch immer jener zürnende Gottvater, als der er mich und alle seine Mitarbeiter geschreckt hatte, nur dass der Schreck bald verblasste und eine treue Gefolgschaft seine Stelle einnahm. Er stürmte und tobte im Kampf mit der Tücke einer kleinlichen Welt, um neuen Erkenntnissen und dem Fortschritt die Wege zu ebnen.“

1963 trat Karl Neumaier als BEV-Präsident in den Ruhestand, bis 1974 war er noch Leiter des Institutes für Photogrammetrie an der TU Wien. Nach meiner Berufung als Leiter des Institutes im Jahre 1974 kam er mindestens einmal wöchentlich ans Institut, gemeinsam mit einigen Freunden und Kollegen. Diese sogenannte Seniorenrunde

blieb aufrecht bis wenige Monate vor seinem Tod am 21. Mai 1999. Er verstarb also nach 101 Lebensjahren. Zur Abrundung der biografischen Daten soll noch auf das Heft 4 der VGI aus dem Jahre 1997 verwiesen werden.

In den letzten Jahren seines Lebens hat Prof. Neumaier in der Seniorenrunde manchmal angedeutet, dass er auch über sein Leben hinaus das Institut unterstützen möchte. Auf seinen Wunsch hin habe ich auch Richtlinien für die Verwendung etwaiger finanzieller Mittel ausgearbeitet, die er vor seinem Tod noch unterschrieben hat. Das Institut wurde Haupterbe, zusätzlich wurden einige Organisationen und Personen, die ihn in der letzten Zeit seines Lebens betreut haben, beteiligt. Prof. Neumaier's Wunsch folgend werden diese Mittel ausschließlich für Stipendien ausgegeben.

Herr Dr. Peter Dorninger ist der erste Stipendiat. Herr Dorninger hat das Dissertationsthema „A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data“ gewählt. Herr a.o.Univ.Prof. Dr. Josef Jansa war Betreuer der Dissertation. Prof. Neumaier hätte seine Freude an diesem Thema gehabt; er hat nämlich immer über seinen engeren Wirkungsbereich hinaus gedacht und gehandelt.

Das Neumaier-Stipendium ist auf zwei Jahre angelegt. Herr Dorninger hat länger an diesem Thema gearbeitet, da das Institut auch Verpflichtungen gegenüber der Europäischen Weltraumorganisation ESA bezüglich der Verwaltung und Auswertung der Mars-Daten eingegangen ist. Diese zusätzliche Finanzierung ist im Abschnitt 1. des folgenden Beitrages angebeben.

Karl Kraus

## 1. Einleitung

*Mars Express (MEX)* ist die erste von der *Europäischen Weltraumorganisation (ESA)* geleitete interplanetare Mission mit internationaler Beteiligung beispielsweise aus den USA, Russland und Japan [1]. Das *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.)* der *Technischen Universität Wien (TU Wien)* ist durch Prof. Kraus als Co-Investigator an *Mars Express* beteiligt. Ein Teil der Finanzierung erfolgte in der Vorbereitungszeit der Mission (2001 bis Dez. 2003) durch das *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* unter der GZ 190.174/2-V/B/10/2000. Seither wird das I.P.F. durch die *Österreichische ForschungsförderungsgesmbH, FFG* (vormals: Austrian Space Agency, ASA) finanziert (DOK.-Nr.: ASAP-CO-005/04).

Im Rahmen dieser Projektbeteiligung wurde die Dissertation „A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data“ verfasst [2]. Die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse dieser Arbeit wurden im Rahmen eines von der *Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG)* geladenen Vortrages am 14. Dezember 2004 an der TU Wien präsentiert.

Im ersten Teil der Dissertation werden die theoretischen Grundlagen sowie die Umsetzung des *Topographischen Mars Informationssystems (TMIS)* beschrieben und diskutiert. Dieser Teil wird im folgenden Artikel nur kurz erwähnt. Es sei auf [2] und [3] verwiesen. Im zweiten Teil der Dissertation werden Methoden zur Bearbeitung und Analyse topographischer Marsdaten untersucht. Die erzielten Ergebnisse werden ausführlich beschrieben.

Seit Beginn der Mission steht die qualitative Verbesserung von aus HRSC-Bildern abgeleiteten Geländemodellen im Mittelpunkt des Forschungsinteresses am I.P.F. Erste Ergebnisse sind in [4] publiziert und werden am Ende dieses Artikels präsentiert.

## 2. Die Mission Mars Express

### 2.1. Der Planet Mars

Seit je her übt der Mars durch seine auffällig rote Erscheinung eine Faszination auf die Menschheit aus. Aufgrund seiner Farbe wurde er meist mit Kriegsgöttern in Verbindung gebracht, was ihm in der griechischen Mythologie den Namen *Ares* einbrachte. Die Römer nannten ihn schließlich *Mars*.

Ausgehend von *Giovanni Schiaparellis* Beobachtung Ende des 19. Jahrhunderts beherrschte nahezu 100 Jahre lang das Bild einer von Flüssen und Vegetation geprägten, „lebendigen“ Marsoberfläche unsere Vorstellung. Erst als 1964 die ersten „Nahaufnahmen“ der Marsoberfläche durch die NASA Sonde *Mariner 5* erfasst und zur Erde übermittelt wurden, offenbarte sich ein neues, eher karg und mondähnlich anmutendes Marsbild. Aktuelle Marsmissionen liefern immer genauere Daten und ermöglichen so, Schritt für Schritt die Entstehungsgeschichte des Mars zu erkunden und darüber hinaus Rückschlüsse auf die Entwicklung der Erde abzuleiten. So hatte der Mars aller Wahrscheinlichkeit nach in früheren Zeiten eine weitaus dichtere Atmosphäre als heute und es soll reißende Flüsse, ja sogar Meere, auf seiner Oberfläche gegeben haben.

## 2.2. Auf der Suche nach Wasser

An Bord der Sonde *Mars Express* befinden sich sieben wissenschaftliche Instrumente, deren Aufgabe die Erfassung von Geologie, Topographie und Atmosphäre unseres Nachbarplaneten ist. Eine der Hauptaufgaben der Mission besteht darin, den Nachweis zu erbringen, dass es in früheren Zeiten Wasser an oder zu mindest nahe der Marsoberfläche gab oder sogar heute noch gibt. Die Suche nach Wasser am Mars wird aus zwei Gründen mit Nachdruck betrieben:

- Wasser ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Leben wie wir es von der Erde kennen. Gibt es kein Wasser, kann es auch keine „erdähnlichen“ Lebensformen am Mars geben.
- Wasser ist für zukünftige, bemannte Marsmissionen notwendig, um aus dem Wasserstoff Treibstoff für den Rückflug zu gewinnen, weil es aus Effizienzgründen nicht möglich ist, ausreichend Treibstoff für Hin- und Rückflug von der Erde mitzunehmen.

## 2.3. Hochauflösende Bilder der Marsoberfläche

Die *High Resolution Stereo Camera (HRSC)* wurde am *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* unter Prof. Gerhard Neukum, *Freie Universität Berlin*, entwickelt. Sie besteht aus einer 9-Zeilenkamera sowie einer Framekamera mit jeweils einem eigenständigen Objektiv. Auf Grund ihrer Anordnung in der Brennebene ermöglichen die unterschiedlichen Zeilen à 5.184 Pixel die Betrachtung eines Oberflächenpunktes aus verschiedenen Blickrichtungen (Schnittwinkel: bis zu 36°) im Zuge eines einzigen Überfluges (im Folgenden als *Orbit* bezeichnet). Dies ermöglicht eine stereoskopische Auswertung der Bilder zur Ableitung digitaler Geländemodelle (DGMe) der Marsoberfläche. Die radiometrische Spezifikation der einzelnen Zeilen ist identisch. Die Vorschaltung von Farbfiltern (rot, grün, blau, NIR) ermöglicht die Erstellung von Echt- und Pseudofarborthophotos der Marsoberfläche. Die maximale Bodenauflösung beträgt rund 12,5 m pro Pixel. Diese ist jedoch abhängig von der momentanen Flughöhe, welche auf Grund des stark elliptischen Orbits zwischen 250 km (Perizentrum) und 11.000 km (Apozentrum) variiert. Die panchromatische Framekamera, auch *Super Resolution Channel (SRC)* genannt, erfasst pro Aufnahme einen Bereich mit 1.024 mal 1.032 Pixel. Die maximale Auflösung beträgt im Perizentrum rund 2 m pro Pixel. Eine detaillierte Spezifikation ist in [5] zu finden.

## 2.4. Das Topographische Mars Informationssystem

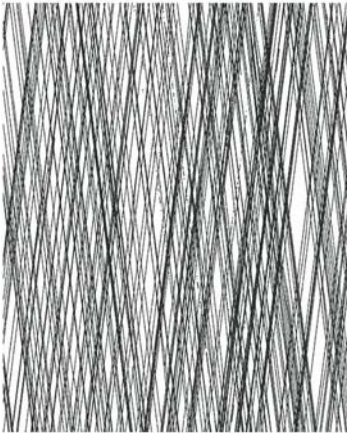
Im Rahmen der Vorbereitung von MEX bestand die Aufgabe des I.P.F. in der Entwicklung des *Topographischen Mars Informationssystems (TMIS)*. Mittlerweile werden etwa 1.500 GB an Bilddaten mit TMIS verwaltet und den beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt. TMIS stellt somit die zentrale Datendrehscheibe innerhalb der Projektgruppe „*HRSC on Mars Express*“ dar. Topographische Daten wie Originalpunktewolken oder daraus abgeleitete DGMe können ebenfalls verwaltet werden.

In der Dissertation Dorninger [2] werden zunächst Konzepte zur Modellierung und Verwaltung räumlicher Daten unter Berücksichtigung vorhandener Standards und Normen diskutiert. Die Möglichkeiten *Extensible Markup Language (XML)* basierter Formate für Datenhaltung und Datenaustausch raumbezogener Daten sowie deren kartographische Aufbereitung zur Darstellung im Internet werden im Detail untersucht. Derzeitig verfügbare Implementierungen von *Web Map Services (WMS)* liefern meist statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objekt-basierte Ausgabeformate wie z.B. *Scalable Vector Graphics (SVG)* unterstützt werden. Im Rahmen der Entwicklung einer kartenbasierten Benutzerschnittstelle für TMIS wurden die Möglichkeiten von SVG eingehend untersucht. Basierend auf den resultierenden Erkenntnissen werden mögliche Erweiterungen zur Verbesserung der Anwendbarkeit vorhandener XML basierter Formate im Bereich der Geodatenmodellierung und -verwaltung präsentiert. Abschließend wird in [2] der Implementierungsstand von TMIS im Frühjahr 2004 als Anwendungsbeispiel der beschriebenen Konzepte gezeigt.

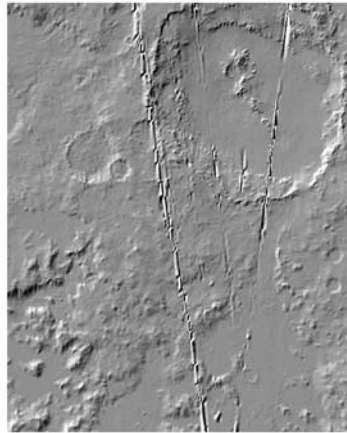
## 3. Modellierung der Marsoberfläche

Die folgenden Untersuchungen wurden durchgeführt, bevor *Mars Express* Daten lieferte. Daher wurden Bild- und Topographiedaten, welche im Rahmen der *NASA Mission Mars Global Surveyor (MGS)* erfasst wurden, verwendet [6].

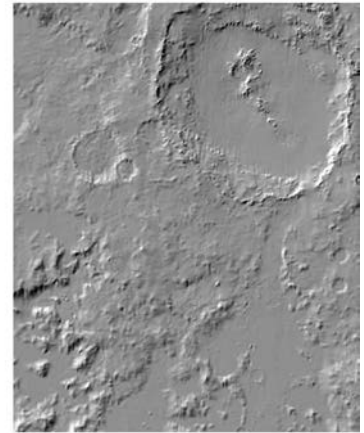
Der Laser Profiler *Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)* [7] an Bord von *MGS* erfasste in der Zeit von 1997 bis 2001 rund 600 Millionen Einzelpunkte an der Marsoberfläche entlang der Nadirspur der Sonde. Im Folgenden wird eine Methode zur Detektion und anschließenden Elimination grober Datenfehler, welche in den



**Abb. 1a:** Punktdistribution der MOLA-Punkte an der Marsoberfläche.



**Abb. 1b:** DGM Schummerung, abgeleitet aus Originaldaten (enthält grobe Fehler).



**Abb. 1c:** DGM Schummerung, abgeleitet aus klassifizierten Daten.

Originalpunkten enthalten sind, vorgestellt. Eine Methode zur Ableitung homogener und von zufälligen Fehlern bereinigter DGMe als Grundlage für weiterführende Analysen wird ebenfalls näher beschrieben.

### 3.1. Daten

Als Grundlage für die Ableitung hochwertiger Geländemodelle zur weiterführenden Analyse bedarf es möglichst homogen verteilter und von groben Messfehlern bereinigter Stützpunkte. Diesbezüglich warfen die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren MOLA-Spurpunkte zwei Probleme auf:

- Es sind fehlerhafte Spuren enthalten, welche in den meisten Fällen durch Referenzierungsfehler der Satellitenbahn verursacht wurden.
- Auf Grund der Aufnahmeanordnung ist die Punktverteilung sehr inhomogen. In Flugrichtung beträgt der mittlere Punktabstand etwa 330 m. Zwischen den einzelnen Spuren gibt es Lücken bis zu mehreren Kilometern.

Die folgenden Abbildungen 1a bis 1c zeigen die Verteilung der Spurpunkte, sowie eine Schräglichtbeleuchtung des DGMs vor und nach der Fehlerelimination.

### 3.2. Fehlerbereinigung

Zur Detektion und anschließenden Elimination fehlerhafter Punkte wurde zunächst eine hierarchische, robuste Klassifizierungsmethode erprobt. Dieses Verfahren wird bei der DGM-Berechnung aus Airborne Laserscanning-Daten (ALS) zur Klassifizierung der erfassten Punkte in Gelände- und Nicht-Geländepunkte (Gebäude,

Vegetation, ...) angewandt [8]. Es stellte sich heraus, dass so die fehlerhaften Punkte erfolgreich eliminiert werden konnten. Allerdings wurden Strukturelemente der rauen Marsoberfläche ebenfalls eliminiert. Dies liegt darin, dass die auftretende Rauigkeit nicht in das funktionale Modell der Methode passt, welche versucht eine möglichst glatte Oberfläche zu ermitteln. Ein ähnliches Verhalten ist bei ALS in alpinem bzw. rauem Gelände feststellbar.

Daher wurde die Methode modifiziert, sodass an Stelle der Einzelpunkte jeweils die mittleren Fehler mehrerer aufeinanderfolgender Punkte (im Folgenden kurz als Liniensegmente bezeichnet) gegenüber der Referenzfläche verglichen werden. Somit ergibt sich folgender Ablauf:

1. Berechnung eines DGMs mit allen Punkten (Referenzfläche).
2. Bestimmung des RMS aller Liniensegmente (z.B. 500 aufeinanderfolgende Spurpunkte) gegenüber der Referenzfläche.  
⇒ Elimination von Liniensegmenten mit zu großem RMS.
3. Berechnung eines DGMs mit den verbleibenden Punkten.
4. Vergleich der zuvor eliminierten Punkte mit dem neuen DGM.  
⇒ Akzeptieren von zuvor verworfenen Punkten, wenn sie innerhalb einer vorgegebenen Toleranz liegen
5. Berechnung eines neuen DGMs (neue Referenzfläche für darauffolgende Iteration).

Die Schritte 2 bis 5 werden iterativ, mit kleiner werdender Toleranzgrenze, wiederholt. Dies ist notwendig, um die Robustheit der Methode zu erhöhen, da sehr grobe Ausreißer (bis zu 2000 m!) unmittelbar benachbarte Modellbereiche so stark beeinflussen, dass bei zu kleinen Toleranzen auch korrekte Punkte eliminiert würden (Abb. 2). In den meisten Testgebieten wurden mit drei Iterationen gute Ergebnisse erzielt. Die ersten beiden Grenzen (200 m und 75 m) sind immer anzuwenden. Die kleinste Schranke muss entsprechend der vorherrschenden Rauigkeit angepasst werden und ist im Bereich von 10 bis 25 m (Abb. 3). Für eine vollständige Automatisierung des Verfahrens wäre es notwendig Rauigkeitskarten (z.B. [9]) heranzuziehen. Dies wurde bisher nicht durchgeführt.

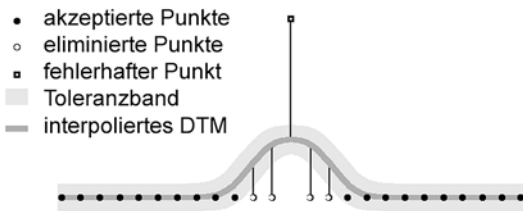


Abb. 2: Beeinflussung des interpolierten DGMs durch einen groben Fehler.

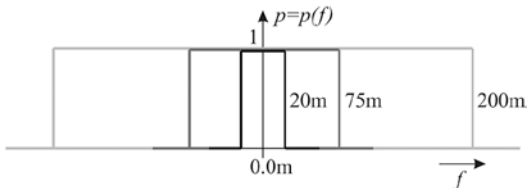


Abb. 3: Symmetrische Rechtecks-Gewichtsfunktionen mit kleiner werdenden Toleranzen (200, 75, 20 m) zur iterativen Klassifizierung der gegebenen Punkte.

### 3.3. Ableitung von Geländemodellen

Zur Ableitung digitaler Geländemodelle wurde die Interpolationsmethode der Linearen Prädiktion [10], die im Programmpaket SCOP++ verwirklicht ist (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/products/>), herangezogen. Für qualitativ hochwertige Ergebnisse müssen die gegebenen Stützpunkte möglichst homogen verteilt sein. Um diese Voraussetzung zu schaffen, wurden mehrere Ansätze untersucht:

1. *Skalierung* der Daten in Ost-Westrichtung um die Datenlücken zu minimieren;
2. Anwendung *morphologischer Operatoren* in Ost-Westrichtung zur Interpolation von Stützpunkten in den punktlösen Gebieten;

3. Anwendung von *Delaunay Triangulierung* um die punktlösen Gebiete zu überbrücken;
4. Berechnung eines *groben Rasters* um die Datenlücken zu füllen.

Die Ergebnisse der ersten beiden Methoden zeigten starke Artefakte in Ost-Westrichtung, da auf diese Weise ein richtungsabhängiger, systematischer Modellierungsfehler eingebracht wurde. Die Qualität einer *Delaunay Triangulierung* [10] ist ebenfalls stark von der Verteilung der gegebenen Punkte abhängig. Dies führte somit zu sehr vielen kleinen Dreiecken entlang benachbarter Spuren und zu sehr langgezogenen Dreiecken im Bereich von Datenlücken. Das Ergebnis war somit auch sehr inhomogen.

Die plausibelsten Ergebnisse liefert die vierte Methode, die z.B. auch zur Neuberechnung des Österreich-DGMs verwendet wurde [11]. Zunächst wird ein grobes Raster berechnet. Diese Punkte werden anschließend in punktlösen Bereichen als zusätzliche Stützpunkte eingeführt. Zur Bestimmung punktlöser Bereiche wird eine Distanztransformation [12] durchgeführt. Abb. 4 zeigt ein derartiges Ergebnis. Diese Information kann außerdem zur Beurteilung der Qualität des resultierenden Modells herangezogen werden, da so zu jedem ermittelten DGM-Gitterpunkt der Abstand zum nächstgelegenen Stützpunkt angegeben werden kann. Das endgültige DGM wird aus den zuvor als fehlerfrei akzeptierten Stützpunkten sowie aus Punkten des groben Rasters zur Überbrückung stützpunktloser Bereiche berechnet. Abb. 5 zeigt den Arbeitsablauf als Blockdiagramm. Detaillierte Ergebnisse sowie Qualitätsuntersuchungen sind in [2] und [13] beschrieben.

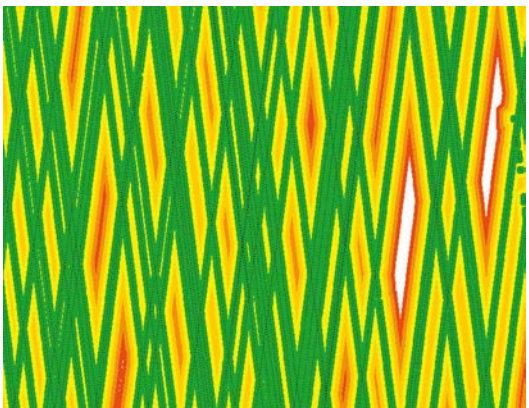


Abb. 4: Ergebnis der Distanztransformation. Schwarze Punkte: Lageverteilung der Stützpunkte. Grün: < 500 m; rot: 2.000 - 2.500 m; weiß: > 2.500 m



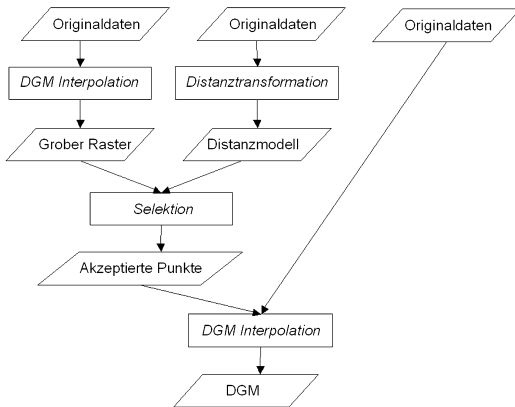


Abb. 5: Arbeitsablauf zur Überbrückung stützpunktloser Bereiche mittels eines groben Rasters.

#### 4. Analyse der Marsoberfläche

Wie bereits in Abschnitt 2.2. erwähnt, sind die meisten gegenwärtigen Marsmissionen darauf ausgerichtet, Wasser bzw. Spuren ehemaliger Wasservorkommen aufzuspüren. Die im Folgenden beschriebenen, geometriebasierten Analysemethoden versuchen an Hand der heute vorherrschenden Topographie mögliche, durch frühere fluviale Prozesse entstandene, Oberflächenstrukturen aufzufinden. Es geht dabei nicht darum, die Arbeit von Geologen und Hydrologen zu übernehmen und endgültige Aussagen zu treffen. Ziel ist es vielmehr, eine rein geometriebasierte Grundlage für weiterführende Interpretationen durch eben diese Forschergruppen zur Verfügung zu stellen.

##### 4.1. Methodik der hydrologischen Analyse

Die verwendete Methode der rasterbasierten, hydrologischen Analyse wurde von Rieger [14] und Gajski [15] entwickelt. Die Anwendung auf Mars-DGMs wurde ebenfalls schon mehrfach publiziert (z.B. [2] oder [13]). Es sei hier dennoch ein kurzer Überblick gegeben:

- Die Methode operiert rasterbasiert. D.h., das zu analysierende Gelände muss als Raster-DGM zur Verfügung gestellt werden.
- Sie ist als systolischer Prozess implementiert. D.h., die Zustände aller Zellen werden synchron ermittelt.
- Nur volle Nachbarn werden berücksichtigt (4er-Nachbarschaft).

- Die Methode besteht aus zwei von einander unabhängigen Schritten:

- Depressionsanalyse: Detektion von lokalen, abflusslosen Gebieten (lokale Minima)
- Abflussanalyse: Repräsentiert die vorherrschende Wassermenge als 2D Wertefeld  $\Rightarrow$  ermöglicht die Ableitung von Flusslinien

Somit kann das Ergebnis als „Regensimulation auf eine undurchlässige Oberfläche“ interpretiert werden. Abbruchbedingung ist das Erreichen eines Gleichgewichtszustandes auf der gesamten betrachteten Fläche. An den Modellrändern fließt das Wasser per definitionem ab.

Die Abbildungen 6a bis 6f zeigen farbkodierte Visualisierungen von auf der Marsoberfläche erzielten Ergebnisse dieser Methode. Das untersuchte Gebiet liegt im Bereich der zentralen *Valles Marineris*. Die Ausdehnung beträgt  $10^\circ$  mal  $10^\circ$  (etwa 600 km mal 600 km). Das Gelände wurde mit einer Gitterweite von  $1/128^\circ$  (etwa 463 m) aus MOLA Daten abgeleitet. Abb. 6d zeigt eine Farbkodierung des DGMs überlagert mit einem Orthophotomosaik, abgeleitet aus Weitwinkelaufnahmen der *Mars Orbiter Camera (MOC)* [16], ebenfalls ein Instrument von MGS. Das Ergebnis der Abflussanalyse, angewandt auf diesen Bereich zeigt Abb. 6a. Geringe Wassermengen sind hellblau dargestellt und zeigen somit den Verlauf von Wasserscheiden (z.B. Kraterränder, Berggücken, ...). Dunkelblaue Bereiche repräsentieren große Wassermengen und somit potentielle Flussläufe. Abb. 6b zeigt daraus abgeleitete Flussläufe. Entsprechend der auftretenden lokalen Wassermenge wurde diesen vektoriiell definierten Flussläufen eine Breite zugewiesen (Abb. 6e). Eine Weiterentwicklung dieser Methode zur Berücksichtigung zusätzlicher, topographischer Parameter wie lokalem Flussprofil, lokaler Flussneigung und ähnlichem ist derzeit in Arbeit.

Abb. 6c zeigt das Ergebnis der Bestimmung lokaler, abflussloser Gebiete (blaue Bereiche). Eine Vereinigung dieser als Seen interpretierbaren Wasserflächen mit den zuvor ermittelten Flussläufen repräsentiert die heute vorherrschende Marstopographie, bei konstantem „Regen“. Diese Darstellung wurde in Abb. 6f mit der Geländedarstellung überlagert. Der „Tiefeneffekt“ der Wasserflächen wurde durch zusätzliche Überlagerung der Wasserflächen mit der Topographiedarstellung erzielt.

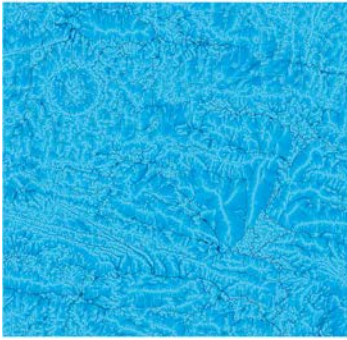


Abb. 6a: Farbkodierte Darstellung der Oberflächenabflussanalyse.



Abb. 6b: Extrahierte Flusslinien.

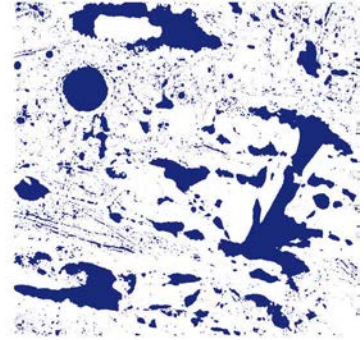


Abb. 6c: Ergebnis der Bestimmung lokaler, abflussloser Gebiete.

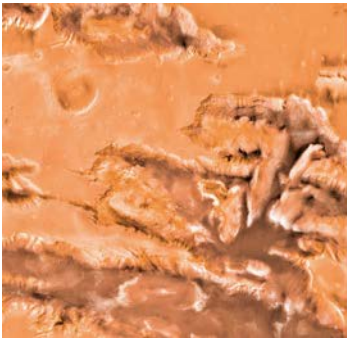


Abb. 6d: 10° x 10° Ausschnitt im Bereich der zentralen Valles Marineris

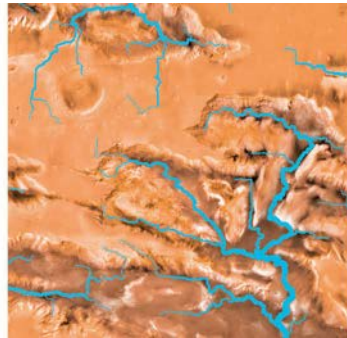


Abb. 6e: Darstellung der Flussläufe; die auftretende Wassermenge wurde als Flussbreite abgebildet.

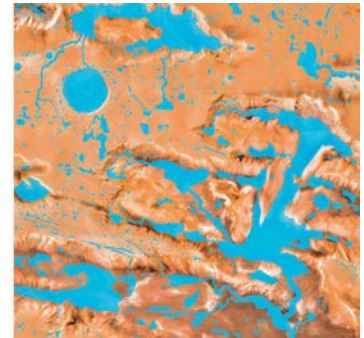


Abb. 6f: Darstellung des Testgebietes bei homogenem „Regen“.

## 4.2. Anwendungsbeispiele

Mit Hilfe der zuvor beschriebenen Methode wurden drei geologisch unterschiedliche Regionen untersucht. Daraus wurden folgende Ergebnisse abgeleitet:

- Hydrologische Kartierung im Bereich der Tharsis Region und der Valles Marineris
- Abflusskanaldetektion in der Elysium Region
- Wasserspiegelsimulation im Bereich des Ma'adim Vallis und des Gusev Kraters

### 4.2.1. Hydrologische Kartierung

Das bearbeitete Gebiet hat eine Ausdehnung von rund 34 Millionen Quadratkilometern (8.700 km mal 3.900 km). Es erstreckt sich in Ost-Westrichtung von der Tharsis Hochebene mit ihren markanten Schildvulkanen – darunter der Olympus Mons, der höchste Berg unseres Sonnensystems mit einer relativen Höhe von rd. 21 km gegenüber seiner Umgebung – von 203° östlicher Länge über die gesamte Fläche der

Valles Marineris bis zu einer östlichen Länge von 348°. Die Nord-Südausdehnung beträgt 66° (44° nördl. bis –22° südl. Breite). Die orthometrischen Höhen betragen zwischen –6.100 und +21.200 Meter.

Als Grundlage diente ein DGM, welches gemäß der in Abschnitt 3. beschriebenen Methode aus den Original-MOLA-Spurpunkten abgeleitet wurde (1/128° Auflösung, rd. 160 Mio. Punkte). Als Farbinformation dient eine Höhenkodierung des DGMs. Zur Erhöhung der visuellen Aussagekraft wurde zusätzlich ein Orthophotomosaik, das aus MOC-Weitwinkelaufnahmen erstellt wurde, in die Höhenkodierung eingerechnet. Die Mosaikierung der Originalbilder erfolgte am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin [17]. Die Geländedarstellung wurde gemeinsam mit abgeleiteten Flussläufen sowie lokaler abflussloser Gebiete kartographisch aufbereitet. Die Karte ist in Abb. 7 dargestellt. Der kartierte Ausschnitt hat im Original eine Ausdehnung von 18.560 mal 8.448 Pixel.

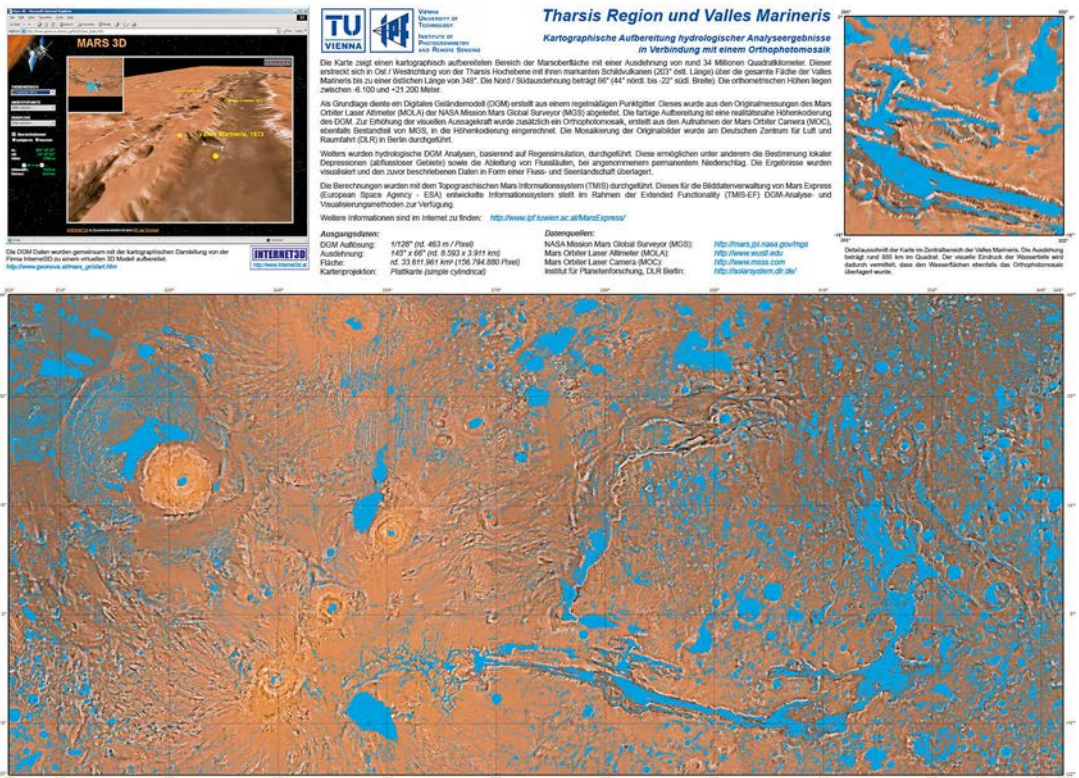


Abb. 7: Hydrologische Kartierung im Bereich der Tharsis Region und der Valles Marineris (stark verkleinert).

Die Ergebnisse der Depressionsanalyse im Bereich der zentralen *Valles Marineris* unterscheiden sich von den in den Abbildungen 6 gezeigten, da die Methode als Randbedingung so definiert ist, dass lokale Wasservorkommen am Rand des DGMs abfließen. Verschieden definierte Grenzen in den beiden Testgebieten führen daher zu unterschiedlichen Resultaten. D.h. um in einem lokal begrenzten Gebiet ein plausibles Ergebnis erzielen zu können, muss das untersuchte Gelände entsprechend größer gewählt werden.

#### 4.2.2. Auffinden von Abflusskanälen

*Elysium Planitia* ist das zweitgrößte vulkanische Gebiet an der Marsoberfläche. Es gibt verschiedene Theorien, wie die Abflusskanäle im Bereich des *Marte Vallis*, welches aus der südlich der *Elysium* Vulkane gelegenen Ebene *Cerberus Plain* zur *Amazonis Planitia* führt, entstanden sein könnten. Allen Theorien ist gemein, dass sie aus einer Abfolge von vulkanischer Aktivität gefolgt von Wasserabfluss entstanden sein dürften (z.B.: [18]).

Das Ergebnis der Depressionsanalyse in diesem Gebiet ist eine Vielzahl kleiner, richtungsabhängiger, lokaler Depressionen (Abb. 8a). Diese beschreiben offensichtlich ein zusammenhängendes, flussartiges Gebiet. Durch die Anwendung des morphologischen Schließoperators, können benachbarte Gebiete verbunden werden. Ein anschließendes Öffnen sowie die Selektion des zusammenhängenden Flusslaufes liefert das in Abb. 8b dargestellte Ergebnis. Abb. 8c zeigt die extrahierte Grenze des möglichen Flusslaufes. Abb. 8d zeigt eine höhenkodierte Darstellung eines simulierten Wasserspiegels (die verwendete Methode wird im folgenden Abschnitt 4.2.3. näher beschrieben). Man sieht, dass die Grenzen des simulierten Wasserspiegels nahezu dekongungsgleich mit den zuvor semi-automatisch bestimmten Flussgrenzen sind.

Das Ergebnis scheint die Theorien über die Entstehungsgeschichte der Abflusskanäle zu bestätigen. Allerdings ist der Grund für das „eigenwillige“ Verhalten der Depressionsanalyse in der numerischen Genauigkeit der verfügbaren Daten zu suchen. Es wurden hier nicht die oben

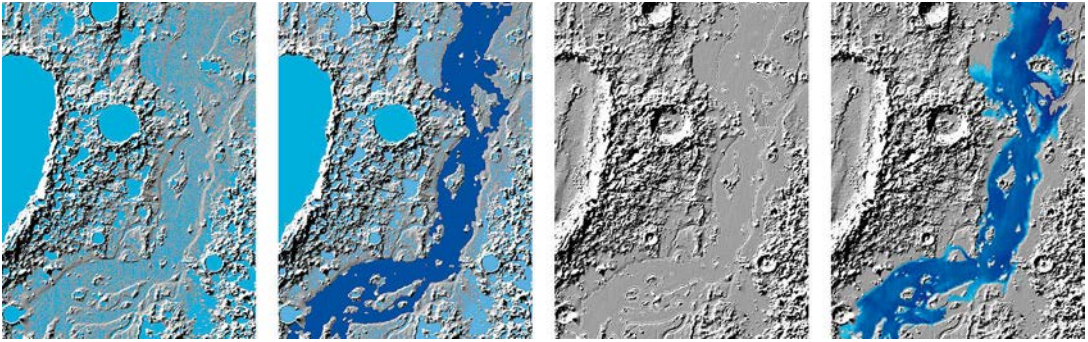


Abb. 8a: Ergebnis der Depressionsanalyse im Bereich des Marte Vallis.

Abb. 8b: Anwendung von morphologischem Schließen, Öffnen und einer Selektion.

Abb. 8c: Extraktion der Begrenzungslinie.

Abb. 8d: Simulierter Wasserspiegel.

genannten Originalspurdaten verwendet. Neumann et. al [19] stellen neben diesen Originaldaten auch ein abgeleitetes DGM mit einer Gitterweite von  $1/128^\circ$  (entspricht 463 m am Äquator) zur Verfügung. Vor der Berechnung dieses Gitters wurden die Vertikalabstände sich überschneidender Spuren in einem globalen Ausgleichsprozess minimiert. Die innere Genauigkeit beträgt rund 1,4 m (mittlerer Abstand sich überschneidender Spuren). Da der untersuchte Bereich extrem flach ist ( $\Delta H = 180$  m auf 600 km = Länge des *Marte Vallis*) und die Gitterdaten auf Meter gerundet zur Verfügung stehen, haben stets mehrere benachbarte Gitterelemente die selbe Höhe. Daraus ergibt sich ein terrassenförmiges Geländemodell und jede Terrasse wird durch eine Depression repräsentiert. Somit kann in diesem Fall das Ergebnis der Depressionsanalyse auch als Rauheitsanalyse interpretiert werden.

#### 4.2.3. Wasserspiegelsimulation

*Ma'adim Vallis* ist das längste Tal an der Marsoberfläche (Länge: 950 km, Breite: bis zu 25 km). Auf seinem Weg in Richtung *Aeolis Region* überwindet es den *Gusev Krater* (Durchmesser: 150 km, Tiefe: 1,6 km), welcher durch die Landung des *Mars Exploration Rovers (MER)* im Januar 2004 ins Interesse der Medien gerückt ist [20]. Die Entstehungsgeschichte des *Ma'adim Vallis* wird ebenfalls auf Oberflächenwasser zurückgeführt. Im Gegensatz zum *Marte Vallis* scheint es sich in diesem Fall um größere Vorkommen von Oberflächenwasser zu handeln, welches über einen längeren Zeitraum den Flussverlauf geformt zu haben scheint [21]. Abb. 9a zeigt eine Überlagerung aus Farbkodierung und Schummerung des Gebietes.

Der in Abb. 9c dargestellte Wasserspiegel wurde mit zwei unterschiedlichen hydrologischen Analyse- bzw. Modellierungsverfahren ermittelt:

- Der Wasserspiegel im Bereich des Tales wurde dadurch definiert, dass im Flussoberlauf, welcher auch einige Zuflüsse aufweist, die Wassermenge kontinuierlich zunimmt (Abb. 9b, Profile 1 – 6). Von Profil 6 bis zum Krater bleibt die Wassermenge konstant. Aus den in den angegebenen Profilen definierten Wasserspiegeln wurde mittels morphologischer Modellierung [22] eine geschlossene Wasseroberfläche modelliert. Eine Verschneidung dieser Oberfläche mit dem DGM liefert somit ein Modell des Wasserkörpers. Dieses wurde farbkodiert und in Abb. 9c dem DGM überlagert dargestellt.
- Der Wasserspiegel im Bereich des Gusevkraters wurde mittels Depressionsanalyse definiert und ist somit im gesamten Kraterbereich konstant. So konnten nahezu drei gleich hoch gelegene Abflusspunkte im nördlichen Bereich des Kraterrandes bestimmt werden ( $\Delta H = \pm 30$  m).

Bei irdischen Anwendungen wird im Bereich der Wasserkörpermodellierung umgekehrt vorgegangen: Zunächst werden Flussprofile gemessen. Diese werden dann mittels der beschriebenen, morphologischen Operatoren verdichtet um das Flussbett zu beschreiben. Der Flusskörper ergibt sich somit aus der Differenz eines interpolierten Flussbettes mit einem wohldefinierten Wasserspiegel. Bei der Anwendung im *Ma'adim Vallis* war die Topographie des Flussbettes genau definiert und daraus wurde ein simulierter Wasserspiegel abgeleitet. Der gewählte Ansatz zur Definition des Wasserspiegels ist sehr einfach. Selbstverständlich können auch komplexere

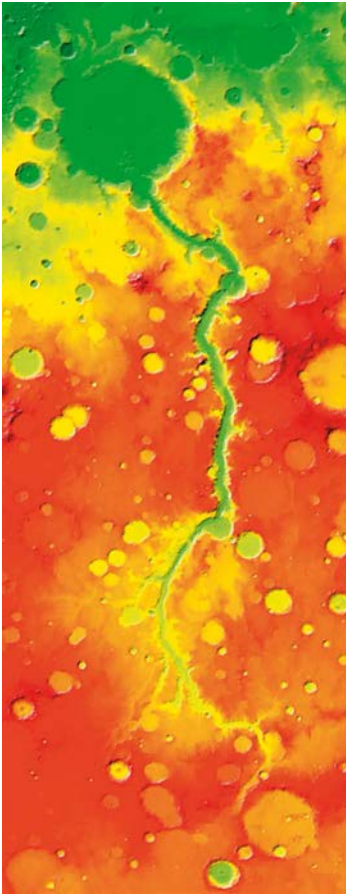


Abb. 9a: Höhenkodierung überlagert mit einer Schummerung des Bereiches Ma'adim Vallis und Gusev Krater.

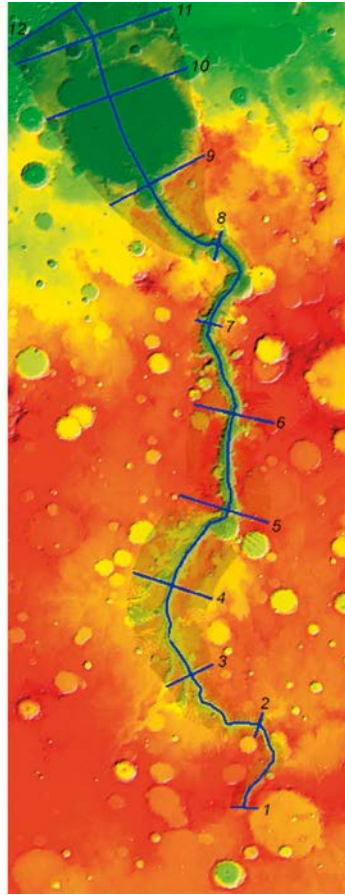


Abb. 9b: Definition des Flusslaufes und von 11 Wasserpegeln (blau). Die Querprofile wurden in dem grau schattierten Bereich verdichtet und definieren so einen geschlossenen Wasserspiegel.

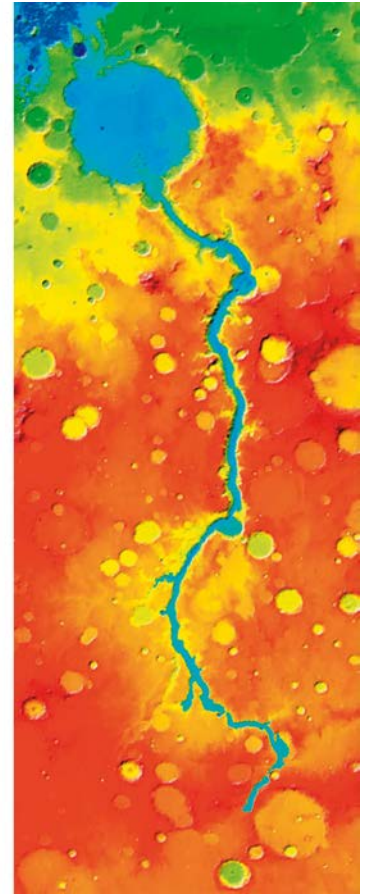


Abb. 9c: Überlagerung des DGMs mit dem höhenkodierten Wassermodell.

Modelle wie beispielsweise jenes von Cabrol und Grin [23] zur Bestimmung der lokal entlang des Flusslaufes auftretenden Wassermenge berücksichtigt werden. Eine exakte Abbildung der Wassermenge auf die Flusstiefe müsste natürlich auch die lokale Topographie wie etwa Flussquerprofil, Fließgeschwindigkeit (z.B. abhängig von der Flussneigung) und vieles mehr berücksichtigen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die *High Resolution Stereo Camera (HRSC)* hat seit Januar 2004 rund 4500 Bilder der Marsoberfläche zur Erde übertragen. Das Datenvolumen

welches mit dem *Topographischen Mars Informationssystem (TMIS)* derzeit verwaltet wird beträgt rund 1.500 GB.

Neben der Entwicklung von TMIS wurden in der Vorbereitungsphase der *Mars Express* Mission aus bereits vorhandenen Topographiedaten des Mars qualitativ hochwertige Geländemodelle abgeleitet und anschließend analysiert. Die vorgestellte Methode zur Elimination grober Fehler in den untersuchten Datensätzen lässt sich automatisiert auf alle vorhandenen 600 Millionen Messungen anwenden. Allerdings wurde der Originaldatensatz in der Zwischenzeit auch von der verantwortlichen Forschungsgruppe verbessert [19], wodurch dies nicht mehr notwendig war.

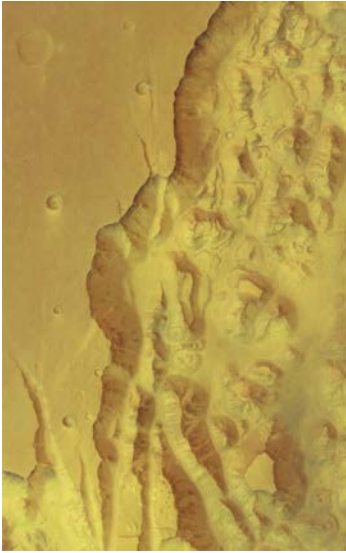


Abb. 10a: HRSC-Farorthophoto des Bereiches Hydraotes Chaos.

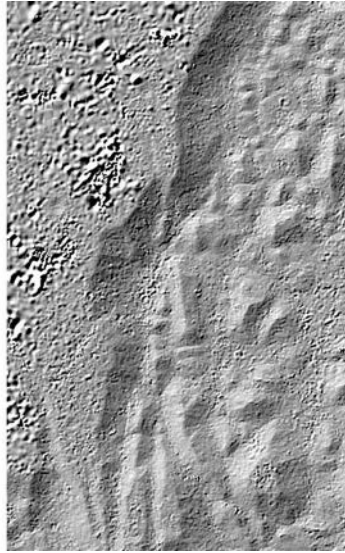


Abb. 10b: Schummerung der Originalpunktswolke.

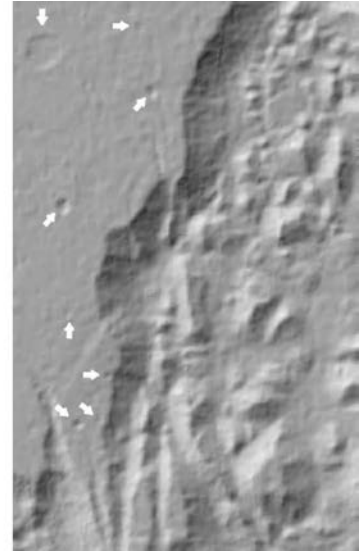


Abb. 10c: Schummerung der klassifizierten Punktswolke. Die weißen Pfeile markieren Details, welche erst nach der Klassifizierung erkennbar werden.

Die präsentierten hydrologischen Analyseergebnisse wurden mit Geologen und Hydrologen in der Projektgruppe „HRSC on Mars Express“ diskutiert und werden derzeit unter Berücksichtigung von HRSC Bildinformation weiter untersucht. Erste Korrelationen zwischen Bildinterpretation und geometrischer Analyse, beispielsweise im Bereich des Gusev Kraters, bestätigen die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

### 5.1. Aktuelle Forschungstätigkeiten im Rahmen der Projektbeteiligung

Die aktuellen Tätigkeitsbereiche des I.P.F. im Rahmen der Mars Express Beteiligung sind

- Sicherung und Aufrechterhaltung des Betriebes von TMIS
- Qualitätsverbesserung der aus HRSC Bildern abgeleiteten Geländemodelle

Aus den Stereobildern der HRSC werden mittels flächenbasierter Bildkorrelation Oberflächepunkte bestimmt [24]. Diese Methode zur Objektpunktbestimmung ist allerdings direkt vom Rückstrahlverhalten der Oberfläche (Albedo) abhängig. Dadurch kommt es zum Teil zu einem starken Messrauschen bzw. können in texturlosen Gebieten keine Punkte bestimmt werden. Seit die ersten DGMe aus HRSC Bildern erstellt wurden,

befasst sich Frau Attwenger im Rahmen ihrer Dissertation damit, mittels robuster Punktklassifizierung den Einfluss des Messrauschens zu reduzieren. Durch die Fusion von MOLA und HRSC Objektpunkten können überdies punktlöse Gebiete überbrückt werden. Die Abbildungen 10a bis 10c zeigen erste Ergebnisse der Methode, angewandt in der Region *Hydraotes Chaos*, aufgenommen in Orbit 18. Abb. 10a zeigt das RGB-Orthophoto des Testgebietes und Abb. 10b eine Schummerung der vom Matchingalgorithmus erzeugten HRSC Objektpunktswolke. Abb. 10c zeigt das Ergebnis der Punktklassifizierung. Das störende, hochfrequente Messrauschen konnte zum größten Teil eliminiert werden, wodurch eine Vielzahl von Kleinstrukturen im Modell ersichtlich wird (durch weiße Pfeile markiert). Die Methode ist in [25] ausführlich beschrieben.

Die ursprünglich stark verrauschten Geländemodelle (Abb. 10b) konnten nicht als Grundlage für hydrologische Analysen herangezogen werden. Die Anwendung der Depressionsanalyse auf klassifizierte Punktswolken scheint jedoch durchaus plausibel. Das in Abb. 11a gezeigte Ergebnis der hydrologischen Analyse, angewandt auf DGM Daten im Bereich des *Hydraotes Chaos* zeigt die Vorzüge der Zusammenführung von HRSC und

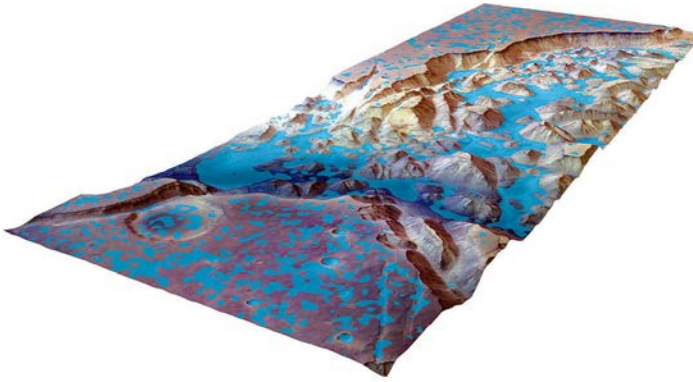


Abb. 11a: Ergebnis der Depressionanalyse, angewandt auf HRSC-DGM-Daten im Bereich des Hydrates Chaos.

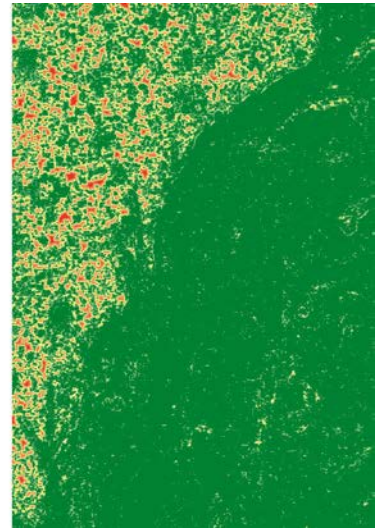


Abb. 11b: Distanzkarte des Testgebietes. Dunkelgrün: Distanz < 100 m; rot: Distanz > 500 m

MOLA Daten. In den stark strukturierten, chaotischen Bereichen (raues Gelände im mittleren Bildbereich) kann der hohe Detaillierungsgrad, welchen das HRSC DGM bietet, voll ausgeschöpft werden. In den sehr glatten und beinahe texturlosen Bereichen im südlichen bzw. nordwestlichen Bildbereich wurden zur Unterstützung des DGMs MOLA Punkte hinzugezogen, um flächendeckende Aussagen treffen zu können. Die Qualität dieses homogen wirkenden Ergebnisses ist natürlich direkt von der Verteilung der Stützpunkte abhängig. Die Erstellung eines „Qualitätslayers“, z.B. in Form einer Distanzkarte (Ergebnis einer Distanztransformation, siehe Abschnitt 3.3.), ist daher unumgänglich. Abb. 11a zeigt das Ergebnis der Depressionsanalyse in Überlagerung mit dem RGB-Orthophoto des Testgebietes. Abb. 11b den zugehörigen Qualitätslayer in Form einer Distanzkarte. Der dargestellte Bereich entspricht der nördlichen Hälfte des Testgebietes.

## 5.2. Ausblick

Nach mittlerweile zwei Jahren operationellem Betrieb ist die Entwicklungsarbeit am TMIS weitgehend abgeschlossen und es gilt nun den Betrieb zu sichern. Derzeit wird eine Umstellung durchgeführt, so dass auch aus den Bilddaten abgeleitete Geländemodelle verwaltet und den Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt werden können. Um die Qualität dieser DGMe zu

verbessern wird auch untersucht, wie sich die zuvor beschriebene HRSC-Punktklassifizierung in eine automatisierte Prozessierungskette eingliedern lässt. Die Integration unterschiedlicher Qualitätslayer zur Gewährleistung der Qualität wird ebenfalls erprobt.

Wie bereits in Abschnitt 4.1. erwähnt, wird derzeit auch die Möglichkeit zur Berücksichtigung weiterer Parameter in Bezug auf die automatische Ableitung von Flussläufen aus Oberflächenabflussanalysen untersucht. Ein weiterer Schritt hinsichtlich der Erweiterung der Anwendungsfelder der vorgestellten, hydrologischen Analysemethoden scheint darin zu bestehen, nicht nur „gleichmäßige“ Beregnungen zu ermöglichen (derzeit werden in jedem Iterationsschritt auf jede Rastereinheit die selbe Regenmenge aufgebracht), sondern beliebige „Beregnungslayer“ zuzulassen. Auf diese Weise können sogar unterschiedliche Aufnahmeeigenschaften des Bodens berücksichtigt werden. Diese Art der Anwendung ist auch für irdische Zwecke von großem Interesse und wird im Rahmen des Christian Doppler Labors für „Spatial Data from Laser Scanning and Remote Sensing“ untersucht und weiterentwickelt.

## Literatur

- [1] *Batrick, B. (Editor), Redfearn, J. (Text), Haakman, C. (Design) (2001): Mars Express – Europe goes to Mars, European Space Agency, ESA Publications Division, BR-174, The Netherlands, July 2001.*
- [2] *Dorninger, P. (2004): A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data, Dissertation am I.P.F., TU Wien, Juni 2004. <http://www.ub.tuwien.ac.at/diss/AC04223140.pdf>*
- [3] *Dorninger, P. (2005): Das Topographische Mars Informationssystem: Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten, Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (PFG), Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V., 5/2005.*
- [4] *Albertz, J., Attwenger, M., Barrett, J., Casley, S., Dorninger, P., Dorner, E., Ebner, H., Gehrke, St., Giese, B., Gwinner, K., Heipke, Ch., Howington-Kraus, E., Kirk, R. L., Lehmann, H., Mayer, H., Muller, J.-P., Oberst, J., Ostrovkiy, A., Renter, J., Reznik, S., Schmidt, R., Scholten, F., Spiegel, M., Stilla, U., Wählisch, M., Neukum, G., and the HRSC Col-Team (2005): HRSC on Mars Express – Photogrammetric and Cartographic Research, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), in Druck.*
- [5] *Hoffmann, H., Behnke, Th., Hauber, E., Flohrer, J., Matz, K.-D., Pischel, R., Jaumann, R., Neukum, G. (2003): Science Performance Budget for the HRSC on Mars Express. Doc. No.: HRSC-DLR-BG-9000-010.*
- [6] *Mars Global Surveyor (MGS): Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA. <http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>*
- [7] *Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA): Science Investigation Site, NASA's Goddard Space Flight Center, USA. <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html> <http://www.wustl.edu>*
- [8] *Briese, Ch., Pfeifer, N., Dorninger, P. (2002): Applications of the Robust Interpolation for DTM Determination. Symposium of ISPRS Com. III, Graz, September 2002. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Graz, Austria, Vol. XXXIV/3A, S. 55-61.*
- [9] *Kreslavsky, M. A., Head, J. W. (2000): Kilometer-scale roughness of Mars: Results from MOLA data analysis, J. Geophys. Res., 101, 26,695-26,711.*
- [10] *Kraus, K. (2000): Topographische Informationssysteme. Photogrammetrie, Band 3, Dümmler-Verlag, Bonn, 419 Seiten, S. 154-180 (Lineare Prädiktion), S. 72-79 (Delaunay-Triangulation), S. 398-400 (Regensimulation)*
- [11] *Franzen, M., Mandlbürger, G. (2003): Die neue Generation des digitalen Geländemodells von Österreich. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI), 91. Jahrgang (2003), 3; 154 - 162.*
- [12] *Borgefors, G. (1986): Distance transformation in digital images. Computer Vision Graphics Image Processing 34 (3), S. 344-371.*
- [13] *Dorninger, P., Jansa, J., Briese, C. (2004): Visualizations and Analysis of Mars Surface. Planetary Space Journal, Volume 52, Issues 1-3, January-March 2004, S. 249-257.*
- [14] *Rieger, W. (1992): Hydrologische Anwendungen des digitalen Geländemodells. Dissertation an der TU Wien. Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessungswesen, Heft 39b, 1992, 95 Seiten.*
- [15] *Gaisky, D. (2005): Rasterbasierte Geländeoberflächenanalysen. Dissertation am I.P.F., TU Wien, Januar 2005.*
- [16] *Mars Orbiter Camera (MOC): Malin Space Science Systems, San Diego, California, USA. <http://www.msss.com/>*
- [17] *Wählisch, M., Niedermaier, G., van Gasselt, S., Scholten, F., Wewel, F., Roatsch, T., Matz, K.-D., Jaumann, R. (2002): A new digital orthoimage map of the Martian western hemisphere using data obtained from the Mars Orbiter Camera at a resolution of 256 pixel/deg. 33<sup>rd</sup> Lunar and Planetary Science Conference, Houston, TX, März 2002.*
- [18] *Fuller, E., R., Head, J., W. (2001): Volcanism and Sedimentation: Origins of the Smoothest Plains on Mars. GSA Annual Meeting, Paper No. 178-0, 5.-8. November 2001.*
- [19] *Neumann, G. A., Lemoine, F. G., Smith, D. E., Zuber, M. T. (2003): The Mars Orbiter Laser Altimeter Archive: Final Precision Experiment Data Record Release and Status of Radiometry, 34<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, 17.-21. März 2003.*
- [20] *Grant, J. A., Golombek, M. P., Parker, T. J., Crips, A. J., Squyres, S. W., Weitz, C. M. (2004): Selecting landing sites for the 2003 Mars Exploration Rovers. Planetary and Space Science. Volume 52, Issues 1 – 3, January – March 2004. S. 11-21.*
- [21] *Jaumann, R., Hauber, E., Lanz, J., Hoffmann, H., Neukum, G. (2001): Geomorphological Record of Water-Related Erosion on Mars, in Horneck, G., Baumstark-Khan, Ch. (Editors): Astrobiology: The Quest for the Conditions of Life, Springer Verlag, Köln, 2001, pp. 89-110.*
- [22] *Mandlbürger, G. (2000): Verdichtung von Echolot Querprofilen unter Berücksichtigung der Flussmorphologie. Österreichische Zeitschrift für Vermessung adim Vallis Evolution: Geometry and Models of Discharge Rate. International Journal of Solar System Studies (Icarus), Vol. 132, S. 362-377.*
- [24] *Oberst, J., Roatsch, T., Giese, B., Wählisch, M., Scholten, F., Gwinner, K., Matz, K.-D., Hauber, E., Jaumann, R., Albertz, J., Gehrke, S., Heipke, C., Schmidt, R. Ebner, H., Spiegel, M., vanGasselt, S., Neukum, G., and the HRSC Co-Investigator Team (2004): The Mapping Performance of the HRSC/SRC in Mars Orbit, in Proceedings: XX ISPRS Congress, Commission IV, WG IV/9, 12.-23. Juli 2004, Istanbul, Türkei.*
- [25] *Attwenger, M. (2005): Klassifikation von HRSC Objekten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche, Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (PFG), Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V., 5/2005, in Druck.*

Alle angegebenen Hyperlinks wurden am 19. Mai 2005 getestet.

## Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Dorninger: Technische Universität Wien, Christian Doppler Labor für „Spatial Data from Laser Scanning and Remote Sensing“ am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.), Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien. email: [pdo@ipf.tuwien.ac.at](mailto:pdo@ipf.tuwien.ac.at)





## Untersuchungen zur GPS/INS-Integration

Klaus Legat, Graz

### Zusammenfassung

Die GPS/INS-Integration stellt einen bedeutenden Forschungsbereich der Navigation dar, in dem auch eine zunehmende Anzahl geodätischer Institute tätig ist. Der Artikel beschreibt die Grundprinzipien der Inertialnavigation sowie der GPS/INS-Integration, die zusätzlich anhand einer kurzen aber anschaulichen Testfahrt praxisnah erklärt werden.

### Abstract

The GPS/INS integration represents an important research area in navigation. An increasing number of geodetic institutes are actively working in this field. The paper describes the basic principles of inertial navigation and of the GPS/INS integration. A short but illustrative test track further explains the applied techniques in a practical manner.

### 1. Einführung

Das Ziel der integrierten Navigation ist die Fusion geeigneter Messsysteme und -sensoren, um die Bewegungsparameter eines Fahrzeugs gemäß den Anforderungen einer vorgegebenen Anwendung erfüllen zu können. Dabei steht typischerweise mehr Information zur Verfügung als zur Bestimmung der Bewegungsparameter notwendig ist (Redundanz). Die Art der Redundanz hängt dabei von der Zusammensetzung des integrierten Messsystems ab. Grundsätzlich werden vier Arten unterschieden [1]: Bei der Integration zweier baugleicher Messinstrumente spricht man von paralleler Redundanz. Diese tritt z.B. in der Luftfahrt auf, wo die Benützung mehrerer gleichartiger Messsysteme vielfach verpflichtend ist. Komplementäre Redundanz liegt bei der Integration von Systemen mit gegensätzlichen physikalischen Messprinzipien vor. Ein Beispiel wäre die Kombination von GPS mit Koppelnavigation anhand von Kompass und Odometer, wie sie in vielen Fahrzeugnavigationssystemen zur Anwendung kommt. Von dissimilarer Redundanz spricht man, wenn die physikalischen Messprinzipien zwar nicht komplementär jedoch auch nicht identisch sind. Ein derartiger Fall ist etwa bei der Kombination von GPS mit einem terrestrischen Radionavigationssystem gegeben. Die vierte und letzte Art von Redundanz ist schließlich die analytische Redundanz, wobei hier ein Navigationssystem durch Informationen von Außen unterstützt wird. Ein Beispiel ist die Unterstützung von GPS durch die geometrischen Informationen einer digitalen Straßenkarte im Sinne von Map Aiding [2].

Die Integration von GPS mit einem Trägheits- oder Inertialnavigationssystem (INS) führt zum Fall der komplementären Redundanz. Während GPS auf der absoluten Positionsbestimmung anhand simultaner Pseudoentfernungsmessungen zu mehreren Satelliten beruht, verwendet die Inertialnavigation autonome Sensoren (Akzelerometer und Gyroskope), aus deren Messdaten die Bewegungsparameter eines Fahrzeugs relativ zu bekannten Ausgangswerten bestimmt werden können. Aus diesen unterschiedlichen Messprinzipien ergeben sich auch komplementäre qualitative Eigenschaften (Tabelle 1). Die Stärken von GPS liegen in der Bereitstellung absoluter Positionen und der hohen Langzeit-Genauigkeit; die Schwächen betreffen die relativ niedrige Datenrate (vor allem für schnelle Bewegungsabläufe), die beschränkte Kurzzeit-Genauigkeit, die mitunter mangelnde örtliche wie zeitliche Verfügbarkeit und die Empfindlichkeit gegenüber äußeren Störeinflüssen. Im Gegensatz dazu bietet die Inertialnavigation eine hohe Kurzzeit-Genauigkeit, eine sehr hohe Datenrate, eine unbegrenzte Verfügbarkeit und eine Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Störungen; Nachteile bestehen im Hinblick auf den relativen Charakter der Positionsinformation und die geringe Langzeit-Genauigkeit. Wie dieser Vergleich zeigt, eignen sich diese beiden Technologien sehr gut für eine Integration.

### Überblick

Dieser Artikel beschreibt zunächst die theoretischen Grundlagen der Inertialnavigation und der GPS/INS-Integration (Abschnitte 2 und 3). Anschließend werden die Ergebnisse einer ein-

fachen aber sehr anschaulichen Messfahrt dargelegt (Abschnitt 4). Diese Messfahrt wurde mit einem qualitativ hochwertigen INS im Rahmen einer Magisterarbeit am Institut für Navigation und Satellitengeodäsie (INAS) der TU Graz durchgeführt [3]. In den vergangenen Monaten wurde am INAS eine eigene INS-Auswertesoftware auf Basis von Matlab entwickelt, die zur Berechnung und Darstellung der Messergebnisse dient. Am Ende des Beitrags erfolgen eine Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse sowie ein Ausblick auf laufende und künftige Entwicklungen am INAS (Abschnitt 5).

Eigenschaft	GPS	INS
Positionsbestimmung	absolut	relativ
Datenrate	$\leq 20$ Hz	$\geq 50$ Hz
Kurzzeit-Genauigkeit	gering	hoch
Langzeit-Genauigkeit	hoch	gering
Verfügbarkeit	beschränkt	unbegrenzt
Empfindlichkeit	hoch	nicht gegeben

Tab. 1: Vergleich von GPS und INS

## 2. Elemente der Inertialnavigation

### 2.1. Prinzip

Ein INS besteht aus einer inertialen Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) sowie aus entsprechender Steuerungshardware und Software zur (numerischen) Integration der Differentialgleichungen, die die Messdaten des Systems mit den gesuchten Bewegungsparametern verknüpfen. Während die IMU in traditionellen Systemen von den rotatorischen Bewegungen des Trägerfahrzeugs isoliert war (kardanisch gelagerte Systeme) ist sie in modernen Realisierungen fest mit dem Fahrzeug verbunden (Strapdown oder analytische Systeme) – eventuell unter Verwendung einer Schocklagerung.

Die IMU umfasst üblicherweise zwei koaxiale, orthogonale Dreibeine von Akzelerometern und Gyroskopen (kurz Gyros), wobei sich die Orthogonalität der Anordnung jeweils auf die sensitiven Achsen der einzelnen Sensoren bezieht (Abbildung 1). Die für die später beschriebene Messfahrt verwendete IMU enthält Servo-Pendel-Akzelerometer sowie Ring-Laser-Gyroskope hoher Qualität. Eine nähere Diskussion dieser Sensoren würde den Rahmen dieses Beitrags

sprengen. Ausführliche Beschreibungen sind der Literatur zu entnehmen [4, 5, 6].

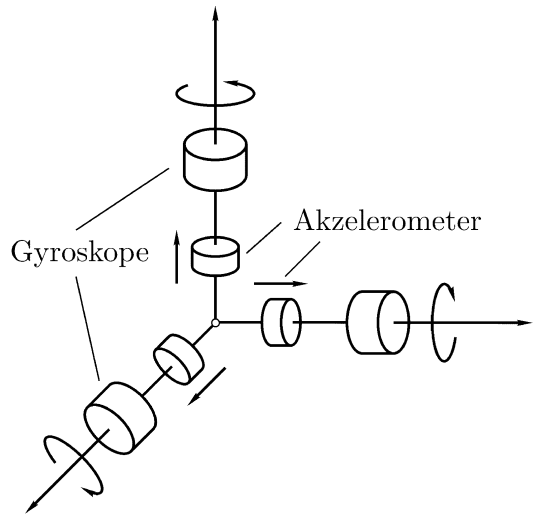


Abb. 1: Schematische Sensoranordnung einer IMU

### Akzelerometer

In einer Strapdown IMU realisieren die Akzelerometer ein kartesisches Koordinatensystem, das eine feste Orientierung relativ zum Fahrzeug besitzt, weshalb der entstehende Koordinatenrahmen als Body Frame ( $b$ -Frame) bezeichnet wird (der Begriff „Rahmen“ bzw. „Frame“ wird hier für die Realisierung von Koordinatensystemen verwendet). Die Akzelerometer messen die dreidimensionale spezifische  $\mathbf{f}^b$  Kraft (Kraft pro Masseneinheit), die auf das  $b$ -Frame einwirkt (physikalische Einheit  $[\text{m}/\text{s}^2]$ ). Das Superskript deutet an, dass sich der gegebene Vektor auf das  $b$ -Frame bezieht. Daneben ist zu beachten, dass sämtliche mathematisch-physikalischen Größen in diesem Artikel als zeitabhängig gelten, sofern dem nicht explizit widersprochen wird.

Die Darstellung des gemessenen Kraftvektors hängt vom Koordinatenrahmen ab, in dem die Navigationsgleichungen gelöst werden sollen. Er enthält Anteile, die der Translation des Fahrzeugs zuzurechnen sind (das eigentlich gesuchte „Signal“ in der Navigation), gravitationsbedingte Anziehungskräfte, sowie – je nach Bezugsrahmen – Scheinkräfte, die durch die Rotation des  $b$ -Frame relativ zum Inertialraum entstehen (Zentrifugal- und Corioliskräfte). Das theoretische Konzept des Inertialraums wird durch einen quasi-inertialen Bezugsrahmen ( $i$ -Frame) approximiert, dessen räumliche Orientierung auf weit entfernte Himmelskörper bezogen ist, das jedoch geozentrisch

gelagert ist und sich mit der Erde entlang der Ekliptik bewegt. Die Akzelerometer messen mithin eine Superposition unterschiedlicher Kräfte und können nicht zwischen den verschiedenen Anteilen unterscheiden.

### Gyroskope

Die Gyros werden zur Messung der Winkelgeschwindigkeiten des  $b$ -Frame relativ zum  $i$ -Frame eingesetzt (physikalische Einheit [rad/s]). In vektorieller Form werden die Gyro-Messungen in der Literatur häufig mit  $\omega_{ib}^b$  bezeichnet [4, 5]. Dabei bezieht sich das Superskript wiederum auf den Koordinatenrahmen, in dem der Vektor gegeben ist. Die beiden tiefgestellten Indizes deuten hier an, dass die Winkelgeschwindigkeit des  $b$ -Frame (letzteres Subskript) relativ zum  $i$ -Frame gemessen wird. (Die Messungen beziehen sich aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Gyros stets auf das  $i$ -Frame.) Aus den Gyro-Daten kann bei bekannter Startorientierung des Fahrzeugs die aktuelle Raumlage des  $b$ -Frame durch einmalige numerische Integration ermittelt werden. Vielfach wird die Beziehung des  $b$ -Frame zum lokalen Horizont (Local-level Frame,  $l$ -Frame) ermittelt. Die Transformation zwischen diesen beiden Bezugsrahmen wird als Attitude bezeichnet und kann – bei entsprechender Wahl der Koordinatenachsen – durch eine Rotationsmatrix  $\mathbf{R}_b^l$  ausgedrückt werden. Dabei beschreibt das Subskript den Ausgangsrahmen und das Superskript den Zielrahmen der Transformation. Die Attitude kann z.B. durch drei kardalische Drehwinkel parametrisiert werden. Diese werden in Anlehnung an die Luftfahrt als Gier-, Nick- und Rollwinkel bezeichnet (entsprechend Einzeldrehungen um die Hoch-, Quer- und Längsachse des Fahrzeugs).

### Berechnung der Bewegungsgrößen

Wird nun der spezifische Kraftvektor anhand der Attitude-Matrix in das  $l$ -Frame transformiert, so kann – nach einer entsprechenden Abspaltung der Erdschwerkraft (bestehend aus Anziehungs- und Zentrifugalkraft) sowie der Corioliskraft – der Geschwindigkeitsvektor  $\mathbf{v}_e^l$  des Fahrzeugs im  $l$ -Frame relativ zur Erde ermittelt werden (das Subskript deutet hier den Bezug zur Erde an). Dies erfolgt wiederum anhand einer einmaligen numerischen Integration, wobei die Startgeschwindigkeit des Fahrzeugs bekannt sein muss.

Schließlich kann die aktuelle Position des Fahrzeugs  $\mathbf{x}^e$  relativ zu einem erdfesten, geozentrischen Äquator-Koordinatenrahmen  $e$ -Frame) durch eine weitere numerische Integration des

zuvor ins  $e$ -Frame transformierten Geschwindigkeitsvektors berechnet werden. Dabei ist die Kenntnis der Ausgangsposition erforderlich.

Aufgrund der Tatsache, dass zur Ermittlung der aktuellen Position, Geschwindigkeit und Attitude die zugehörigen Startwerte bekannt sein müssen (sie fungieren jeweils als Integrationskonstanten), wird die Inertialnavigation den relativen Positionierungsverfahren zugerechnet. Im Sinne einer Rekursion muss für die Bestimmung der aktuellen Bewegungsparameter die Lösung des jeweils vorangegangenen Zeitpunkts bekannt sein. Aufgrund dieser rekursiven Berechnung akkumulieren sich systematische Fehler der Messung, was zu einer ständigen Abnahme der Navigationsqualität führt (vgl. Abschnitt 2.4).

Der Einsatz eines INS lässt sich in mehrere Phasen einteilen. In der Startphase (Initial Alignment) wird die Startausrichtung (Initial Attitude) des Systems ermittelt. Dafür müssen die Startposition und -geschwindigkeit von Außen zugeführt werden (siehe folgender Abschnitt). Das Initial Alignment wurde traditionell statisch durchgeführt, kann jedoch bei der Integration mit einem anderen System wie GPS auch kinematisch erfolgen. Nach Abschluss der Alignment-Phase beginnt die eigentliche Strapdown Berechnung (vgl. Abschnitt 2.3). Falls das Fahrzeug in seiner Bewegung hin und wieder still steht, so kann die Ausrichtung des Systems überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden (dieses Verfahren wird als Zero-Velocity Update, kurz ZUPT, bezeichnet). Bei der Integration mit GPS werden die INS- und GPS-Daten miteinander abgeglichen (siehe Abschnitt 3).

## 2.2. Initial Alignment

Ziel des Initial Alignment ist die Ermittlung der Startausrichtung der IMU – dargestellt durch die Attitude-Matrix  $\mathbf{R}_b^l$  zur Zeit  $t_0$  des Alignments. Hier wird der konventionelle Fall eines statischen Alignments (keine Bewegung relativ zur Erde) besprochen. Dabei sind die Sollmessungen der Akzelerometer und Gyros durch die Physik der Erde vorgegeben und damit bekannt.

Die Akzelerometer müssen beim statischen Alignment den lokalen (wahren) Schwerevektor der Erde messen (d.h. die Superposition der Erdanziehung und der Zentrifugalkraft der Erdrotation). Falls die IMU perfekt horizontal wäre – zwei der Achsen des  $b$ -Frame also orthogonal zum Schwerevektor wären – und die Messinstrumente fehlerfrei wären, würde nur der verbleibende Akzelerometer mit sensitiver Achse in Vertikal-

richtung einen Wert ungleich Null anzeigen. Anders ausgedrückt: Die Analyse der Akzelerometer-Messungen erlaubt die numerische Berechnung der Orientierung des  $b$ -Frame relativ zum  $l$ -Frame abgesehen von einer Drehung um die Lotachse. Damit folgen die Startwerte des Nick- und Rollwinkels aus den Messungen der Akzelerometer.

Der verbleibende Gierwinkel kann durch die Gyros ermittelt werden. Im statischen Fall müssen diese nämlich – wiederum unter Annahme von Fehlerfreiheit – den Rotationsvektor der Erde reproduzieren, da sich das  $b$ -Frame gemeinsam mit der Erde relativ zum  $i$ -Frame dreht. Der Erdrotationsvektor besitzt keine Komponente in Ostrichtung, d.h. er kann im  $l$ -Frame stets durch eine Linearkombination des Nord- und Vertikalvektors dargestellt werden (dies ist auch das Prinzip des Kreiselkompasses). In der Äquatorebene entspricht seine Richtung dem Nordvektor, an den Polen jener des Vertikalvektors (dort ist im Übrigen auch das hier beschriebene Verfahren nicht anwendbar, da der Schwere- und Rotationsvektor zusammenfallen).

### Mathematische Betrachtung

Die Beziehung der Akzelerometer-Messungen zum lokalen Schwerevektor kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$\mathbf{R}_b^l(t_0)\mathbf{f}^b = -\bar{\mathbf{g}}^l, \quad (1)$$

wobei  $\bar{\mathbf{g}}^l$  der als konstant angenommene lokale Schwerevektor ist. Gleichung (1) besagt, dass die Transformation der Akzelerometer-Messungen ins  $l$ -Frame dem negativen lokalen Schwerevektor  $-\bar{\mathbf{g}}^l$  entspricht (negativ deshalb, weil die „nach unten“ wirkende Schwerkraft in einem Akzelerometer nicht von einer „nach oben“ gerichteten Trägheitskraft unterschieden werden kann). Obwohl das Schwerefeld der Erde streng genommen nicht konstant ist, kann diese Zeitabhängigkeit für Navigationsanwendungen vernachlässigt werden. Zudem können die Abweichungen des Erdschwerefelds vom Schwerefeld eines Niveauellipsoids meist unberücksichtigt bleiben. (Eine Diskussion dieser Einflüsse ist in [4] zu finden.) Damit lässt sich der Schwerevektor durch

$$\bar{\mathbf{g}}^l = [0 \quad 0 \quad \gamma(\varphi, h)]^T \quad (2)$$

ausdrücken, wobei  $\gamma(\varphi, h)$  aus einem Modell des Erdschwerefelds in Funktion der ellipsoidischen Breite  $\varphi$  und Höhe  $h$  des Startpunkts berechnet werden kann (die Unabhängigkeit von

der ellipsoidischen Länge  $\lambda$  resultiert aus der Rotationssymmetrie des Schweremodells). Obige Beziehung beruht auf der Definition des  $l$ -Frame als Rechtshandsystem mit den Achsen in Nord-, Ost-, und negativer Vertikalrichtung.

Die Beziehung zwischen den Gyro-Messungen und dem Erdrotationsvektor lautet

$$\mathbf{R}_b^l(t_0)\boldsymbol{\omega}_{ib}^b = \boldsymbol{\omega}_{ie}^l, \quad (3)$$

wobei  $\boldsymbol{\omega}_{ie}^l$  dem als konstant angenommenen Erdrotationsvektor im  $l$ -Frame entspricht; die tiefgestellten Indizes deuten hier die Drehung des  $e$ -Frame (der Erde) relativ zum  $i$ -Frame (dem Inertialraum), dargestellt im  $l$ -Frame an. Der Rotationsvektor  $\boldsymbol{\omega}_{ie}^l$  ist durch

$$\boldsymbol{\omega}_{ie}^l = [\omega_E \cos \varphi \quad 0 \quad -\omega_E \sin \varphi]^T \quad (4)$$

gegeben, wobei  $\omega_E$  die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation und  $\varphi$  wiederum die ellipsoidische Breite des Startpunkts ist.

Ergänzt man die beiden einander entsprechenden Vektoren ( $\mathbf{f}^b, \boldsymbol{\omega}_{ib}^b$ ) bzw. ( $-\bar{\mathbf{g}}^l, \boldsymbol{\omega}_{ie}^l$ ) in den beiden Koordinatenrahmen um einen dritten Vektor (den man jeweils durch ein Kreuzprodukt berechnen kann), so kann daraus die Attitude-Matrix  $\mathbf{R}_b^l(t_0)$  berechnet werden. Dieser Rechenschritt wird als Coarse Alignment bezeichnet, da das Ergebnis zwar im Prinzip mit den Messungen einer einzigen Epoche ermittelt werden kann jedoch nur eine beschränkte Genauigkeit besitzt. Der Grund für diese Einschränkung liegt vor allem in den systematischen Messfehlern der Sensoren, die durch eine Kalibrierung nicht vollständig eliminiert werden können. Das Coarse Alignment wird in der Regel durch ein nachgestelltes Fine Alignment auf Basis eines Kalman-Filters verbessert [4]. Darauf wird hier nicht näher eingegangen.

### 2.3. Strapdown Berechnung

Nach der Durchführung des Initial Alignment kann die IMU zur Navigation eingesetzt werden. Wie zuvor beschrieben, müssen dafür die Messungen der Gyros einfach, sowie die ins  $l$ -Frame transformierten Messungen der Akzelerometer zweifach numerisch integriert werden. Um den Umfang dieses Artikels nicht zu sprengen, muss hier auf Details sowie auf Beweise verzichtet werden. Diese können in der Literatur nachgeschlagen werden, siehe z.B. [4, 2].

### Attitude-Berechnung

Die Attitude-Matrix  $\mathbf{R}_b^l$  genügt der gewöhnlichen Differentialgleichung erster Ordnung

$$\dot{\mathbf{R}}_b^l = \mathbf{R}_b^l \boldsymbol{\Omega}_{ib}^b - \boldsymbol{\Omega}_{il}^l \mathbf{R}_b^l, \quad (5)$$

wobei  $\dot{\mathbf{R}}_b^l$  die zeitliche Ableitung der Attitude-Matrix bedeutet, und  $\boldsymbol{\Omega}_{ib}^b$  bzw.  $\boldsymbol{\Omega}_{il}^l$  zwei schief-symmetrische Winkelgeschwindigkeitsmatrizen sind. Letztere werden durch die allgemeine Bildungsvorschrift

$$\boldsymbol{\omega} = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} \rightarrow \boldsymbol{\Omega} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

aus einem Winkelgeschwindigkeitsvektor abgeleitet. Diese Beziehung kann symbolisch durch  $\boldsymbol{\Omega} = [\boldsymbol{\omega} \times]$  abgekürzt werden, d.h. die Multiplikation eines Vektors mit  $\boldsymbol{\Omega}$  entspricht einem Kreuzprodukt desselben Vektors mit  $\boldsymbol{\omega}$ . Zurückkehrend zu Gl. (5) wird  $\boldsymbol{\Omega}_{ib}^b$  aus  $\boldsymbol{\omega}_{ib}^b$  gebildet und  $\boldsymbol{\Omega}_{il}^l$  folgt aus dem Vektor

$$\boldsymbol{\omega}_{il}^l = [(\omega_E + \dot{\lambda}) \cos \varphi - \dot{\varphi} - (\omega_E + \dot{\lambda}) \sin \varphi]^T, \quad (7)$$

der von der Breite  $\varphi$  sowie von den zeitlichen Änderungen von Breite und Länge ( $\dot{\varphi}, \dot{\lambda}$ ) abhängig ist. Diese Beziehung zeigt, dass Änderungen der Fahrzeugposition zu Verdrehungen des  $l$ -Frame relativ zum  $i$ -Frame führen, wobei eine Zunahme der Länge analog zur Erdrotation wirkt. Eine Zunahme der Breite führt zu einer entgegengesetzten Drehung um die Ostrichtung.

Eine wesentliche Erkenntnis von Gl. (5) ist, dass die numerische Berechnung der aktuellen Attitude-Matrix (durch Integration obiger Differentialgleichung) sowohl von der vorangegangenen Attitude-Lösung als auch von der vorangegangenen Positions- und Geschwindigkeitslösung abhängig ist, was zudem neuerlich den relativen Charakter der Inertialnavigation unterstreicht.

### Geschwindigkeitsberechnung

Zur Berechnung des aktuellen Geschwindigkeitsvektors müssen zunächst die Akzelerometer-Messungen ins  $l$ -Frame transformiert werden, was anhand der zuvor bestimmten Attitude-Matrix erfolgt:

$$\mathbf{f}^l = \mathbf{R}_b^l \mathbf{f}^b. \quad (8)$$

Anschließend müssen der Schwerevektor sowie die durch das Zusammenwirken von Erdrotation und Fahrzeugbewegung hervorgerufene Coriolis-Beschleunigung abgespalten werden. Das Ergebnis ist eine gewöhnliche Differentialgleichung erster Ordnung für den Geschwindigkeitsvektor:

$$\dot{\mathbf{v}}_e^l = \mathbf{f}^l + \bar{\mathbf{g}}^l - (\boldsymbol{\Omega}_{il}^l + \boldsymbol{\Omega}_{ie}^l) \mathbf{v}_e^l, \quad (9)$$

wobei  $\dot{\mathbf{v}}_e^l$  die zeitliche Ableitung des Geschwindigkeitsvektors ist;  $\boldsymbol{\Omega}_{il}^l$  ist aus Gl. (7) und  $\boldsymbol{\Omega}_{ie}^l = [\boldsymbol{\omega}_{ie}^l \times]$  aus Gl. (4) bekannt;  $\bar{\mathbf{g}}^l$  folgt wie gewohnt aus dem Modell der Erdschwere. Wiederum ist zu erkennen, dass die numerische Integration dieser Gleichung (und damit die Bestimmung des Geschwindigkeitsvektors) von der vorangegangenen Navigationslösung abhängig ist.

### Positionsberechnung

Schließlich muss zur Ermittlung der aktuellen Position der Geschwindigkeitsvektor ins  $e$ -Frame transformiert und integriert werden. Die zugehörige gewöhnliche Differentialgleichung erster Ordnung lautet

$$\dot{\mathbf{x}}^e = \mathbf{R}_l^e \mathbf{v}_e^l, \quad (10)$$

wobei  $\dot{\mathbf{x}}^e$  der Geschwindigkeitsvektor im  $e$ -Frame ist und die Transformationsmatrix  $\mathbf{R}_l^e$  nur von der ellipsoidischen Breite und Länge ( $\varphi, \lambda$ ) der (vorangegangenen) Fahrzeugposition abhängt. Auf nähere Details wird hier zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet, siehe [2].

Wie aus Gln. (9) und (10) folgt, werden die Akzelerometer-Messungen doppelt integriert, um die aktuelle Position zu bestimmen. Startgeschwindigkeit und -position dienen dabei als Integrationskonstanten. Etwas subtiler resultiert unter Berücksichtigung von Gln. (5) und (8), dass die Gyro-Messungen für die Bestimmung der aktuellen Attitude zwar nur einmal, für die Positionsberechnung jedoch sogar dreimal integriert werden. Aus diesem Grund wirken sich systematische Messfehler der Gyros besonders kritisch auf die Navigationsqualität eines INS aus.

### Flussdiagramm

Der gesamte Ablauf des Strapdown Algorithmus ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Die Berechnung der Attitude wird durch den „Attitude-Computer“, jene von Geschwindigkeit und Position durch den „Navigations-Computer“ vollführt.

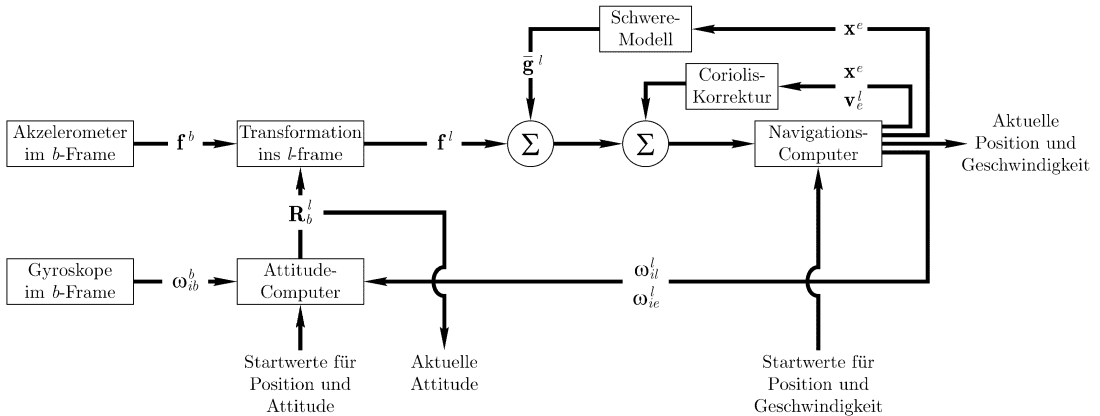


Abb. 2: Flussdiagramm des Strapdown Algorithmus

## 2.4. Navigationsqualität

Aufgrund des relativen Charakters der Navigation kommt es bei einem INS zu einer Akkumulation systematischer Messfehler der Sensoren. Es gibt eine Reihe unterschiedlicher systematischer Messfehler [7], wobei die kritischsten meist die Nullpunktsfehler sind [4]. Im Fall eines Nullpunktsfehlers erzeugt der betreffende Sensor bei einem verschwindenden Eingangswert einen von Null verschiedenen Ausgangswert.

Jeder systematische Messfehler besitzt einen konstanten („gutartigen“) Anteil, der im Rahmen einer Kalibrierung ermittelt und von den Messungen abgespalten werden kann. Daneben gibt es jedoch einen residualen („böartigen“) Anteil, der sich von Einschaltvorgang zu Einschaltvorgang verändert, d.h. der Messfehler nimmt jeweils einen anderen Wert an, wenn das Instrument in Betrieb genommen wird. Schließlich können sich die residualen Fehler auch während der Betriebszeit verändern, was z.B. durch eine Variation äußerer Bedingungen hervorgerufen werden kann (etwa durch eine Temperaturänderung).

Ohne nähere Betrachtung der tatsächlichen Gegebenheiten folgt aus den Diskussionen des vorangegangenen Abschnitts, dass sich der Nullpunktsfehler eines Akzelerometers näherungsweise mit der zweiten Potenz der Zeit, der Nullpunktsfehler eines Gyros sogar mit der dritten Potenz der Zeit in systematischen Verfälschungen der Position auswirkt. Aus diesen Gründen muss der sorgfältigen Kalibrierung der Messinstrumente größte Bedeutung beigemessen werden.

In der Literatur wird der Positionsfehler eines INS oft in nautischen Meilen über eine Stunde

freier (d.h. ungestützter) Inertialnavigation angegeben (Konfidenzniveau 50%). Man unterscheidet drei Klassen: Systeme niedriger Qualität weisen Positionsfehler von über 10, Systeme mittlerer Qualität um 1, und Systeme hoher Qualität unter 0.1 nautische Meilen pro Stunde auf. Letztere Qualität ist in der Regel nur militärischen Anwendern zugänglich. Für qualitative Anforderungen zugehöriger Sensoren siehe [7]. Die für die Testmessung verwendete IMU ist der zweiten dieser drei Klassen zuzuordnen [8].

## 3. GPS/INS-Integration

GPS und INS können auf verschiedenste Art und Weise miteinander integriert werden. Hier werden zwei Arten besprochen, die auch für die Messfahrt praktisch gezeigt werden. Weitere Verfahren sind in [9] beschrieben.

### 3.1. Ungekoppelte Integration

Die ungekoppelte Integration ist das wohl einfachste Verfahren zur Kombination zweier Messsysteme. Hier wird ein GPS-Empfänger als Primärsystem verwendet; nur dann, wenn GPS nicht verfügbar ist, wird die Lösung des INS ausgegeben. Wenn GPS verfügbar ist, wird die Positionslösung des INS jener von GPS gleichgesetzt. Damit wird die entstehende INS-Raumkurve regelmäßig auf jene von GPS gezwungen. Dadurch entstehen Sprünge in den INS-Ergebnissen. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Anwachsrate der INS-Fehler durch die Positionsrücksetzung nicht eingedämmt werden kann.

### 3.2. Lose Kopplung

Die lose Kopplung basiert ebenfalls darauf, dass sowohl der GPS-Empfänger als auch das INS in einem Vorverarbeitungsschritt aus ihren jeweiligen Messdaten eigenständige Navigationslösungen berechnen, d.h. der GPS-Empfänger liefert eine Position und eventuell einen Geschwindigkeitsvektor; das INS liefert Attitude, Geschwindigkeit und Position. Diese Daten werden dann meist in einem Kalman-Filter miteinander verknüpft. Dieser liefert bei Kenntnis der stochastischen Eigenschaften der beteiligten Instrumente statistisch gesehen optimale Ergebnisse für Position, Geschwindigkeit und Attitude zu jedem Zeitpunkt.

Der Kalman-Filter selbst umfasst drei Schritte: den Prädiktionsschritt (Vorhersage der Bewegungsgrößen des Fahrzeugs und deren Kovarianzinformation von einer Epoche zur nächsten), die Berechnung der Kalman-Gain-Matrix (zur relativen Gewichtung der Prädiktion und der neuen Messdaten anhand stochastischer Modelle) und die Korrektur der Bewegungsgrößen auf Basis aktueller Messdaten [2].

Die lose Kopplung kann auf verschiedene Arten implementiert werden. Ein möglicher Ansatz ist es, die Differenzen der Ergebnisse von GPS und INS als Systemzustände zu definieren. Die Vorhersage des Systemzustands erfolgt durch Fehler-Differentialgleichungen, die aus den Grundgleichungen des INS durch totale Differentiation abgeleitet werden können. Die „Messgrößen“ sind dann durch die Differenz der GPS- und INS-Ergebnisse für Position (und Geschwindigkeit) gegeben. Auf diese Weise können neben den eigentlichen Fehlerzuständen auch die aktuellen residualen systematischen Messfehler der INS-Sensoren ermittelt werden. Dadurch können durch das INS wesentlich längere GPS-Datenlücken mit hoher Navigationsqualität überbrückt werden, als dies ohne Mitschätzung der Messfehler des INS möglich wäre.

## 4. Ergebnisse einer beispielhaften Messfahrt

### 4.1. Übersicht

Die Messfahrt wurde nahe des Königsees im Raum Berchtesgaden durchgeführt. Abbildung 3 zeigt eine 2D-Darstellung der Fahrtstrecke vor einem Orthophoto, das freundlicherweise vom Bayerischen Landesvermessungsamt zur Verfügung gestellt und aus [3] entnommen wurde. Die Strecke hat eine Länge von knapp 3 km. Der Start- und Zielpunkt befinden sich nahe der nord-östlichen „Ecke“. Die Strecke wurde gegen den Uhrzeigersinn befahren. Das Gelände weist nur

geringfügige Höhenunterschiede auf und erreicht seinen höchsten Punkt am westlichen Ende. Die Strecke enthält drei problematische Bereiche für GPS, die durch Ellipsen gekennzeichnet sind. Die Probleme werden teilweise durch Gebäude, teilweise durch Waldstücke verursacht.

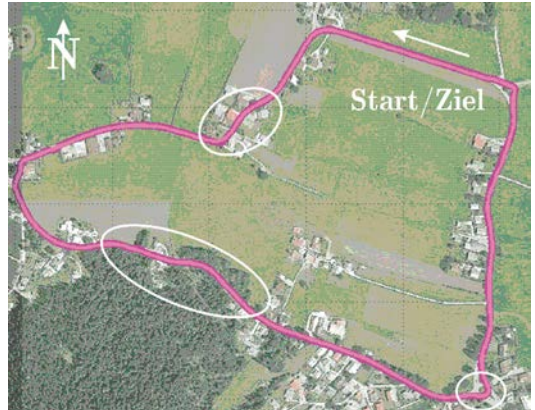


Abb. 3: 2D-Darstellung der Messfahrt vor einem Orthophoto (aus [3])

Die GPS-Messungen dienen als Referenz für die übrigen Berechnungen. Die Positionsbestimmung erfolgte durch kinematische Basislinienauswertung, wobei sich ein statischer Empfänger in der Nähe des Start-/Zielpunkts befand. Für die Messungen wurde das Messsystem auf einem Kleinbus montiert. Die maximale Fahrgeschwindigkeit betrug knapp 60 km/h.

Das Messsystem bestand aus zwei geodätischen GPS-Empfängern des Typs Ashtech/Thales Z-Xtreme sowie aus einer Honeywell IMU, die von der deutschen Firma iMAR in ein vollwertiges INS (Typenbezeichnung iNAV-RQH) umgewandelt wurde [8]. Dieses System wurde dankenswerterweise von den geodätischen Instituten der TU München zur Verfügung gestellt. Die Datenaufzeichnung des INS wurde durch den kinematischen GPS-Empfänger auf GPS-Zeit synchronisiert.

### 4.2. Freie Inertialnavigation

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der freien Inertialnavigation im Vergleich mit GPS. Die horizontale Darstellung basiert auf einem lokalen Koordinatensystem, dessen Ursprung sich im Startpunkt befindet. Die Ausgabedatenrate des INS beträgt 5 Hz, jene von GPS 1 Hz. Die Rechenrate des INS ist 50 Hz. Deutlich zu sehen ist die zunehmende Abdrift der INS-Trajektorie

vom GPS-Ergebnis. Am Ende der Fahrt, die etwa 5 Minuten lang dauerte, weicht die INS-Position ab. 50 m in Ostrichtung von der Startposition ab. Dies entspricht den Erwartungen an das verwendete INS. Weiters können bereits erste GPS-

Probleme beobachtet werden (Datenlücke im südlichen Bereich); diese sind allerdings auch zum Teil auf die verwendete GPS-Software zurückzuführen, die im kinematischen Fall kein ideales Verhalten zeigt.

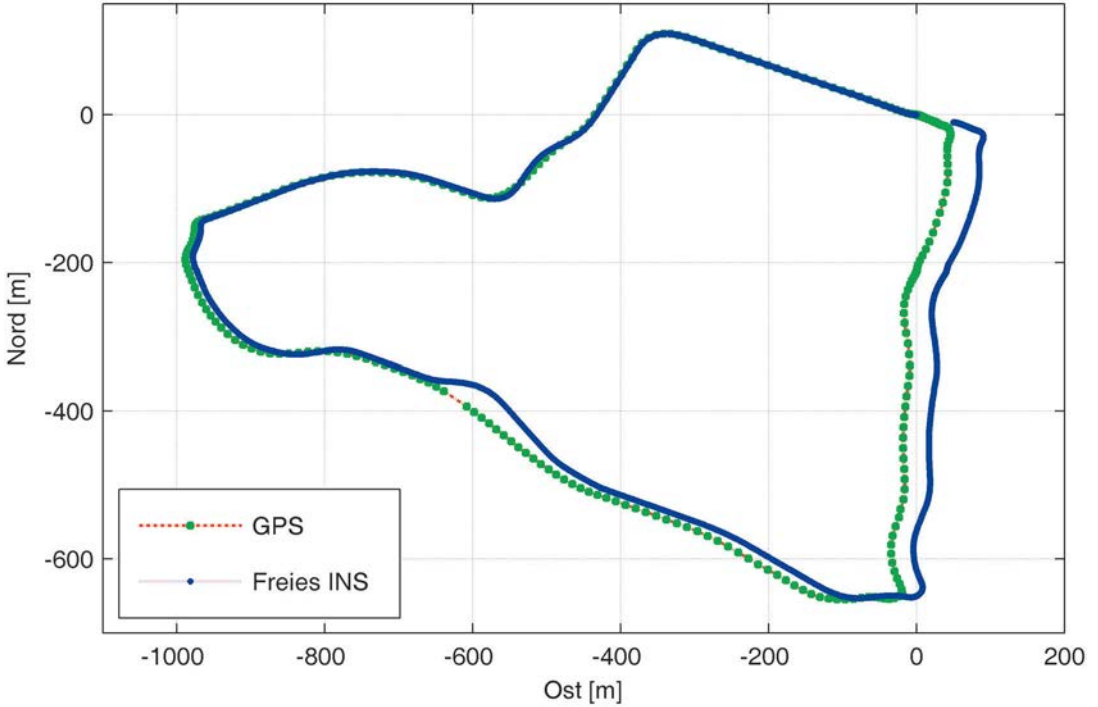


Abb. 4: 2D-Darstellung: GPS vs. freies INS

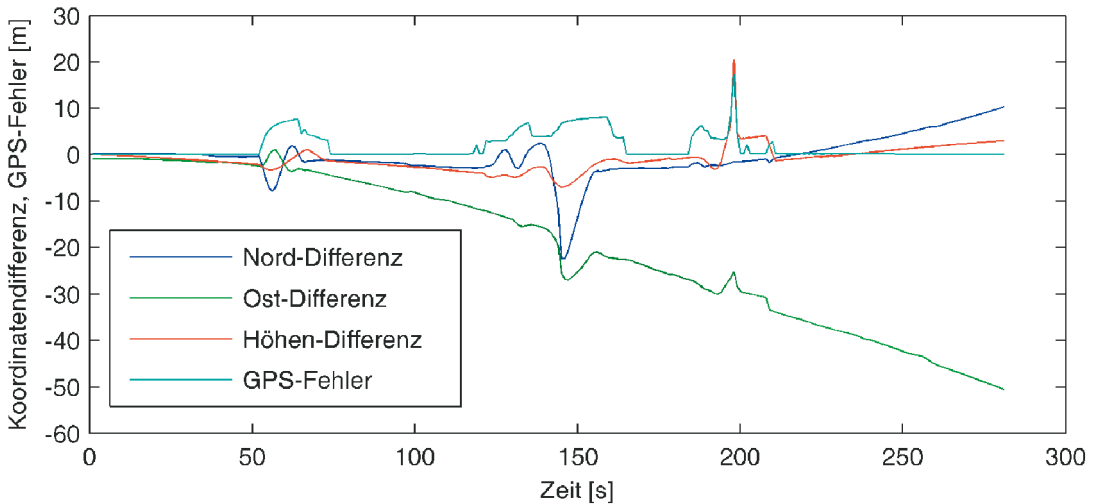


Abb. 5: Koordinatendifferenzen: freies INS - GPS, GPS-Positionsfehler



Abbildung 5 zeigt eine Zeitreihendarstellung der Koordinatendifferenzen des freien INS reduziert um GPS; zusätzlich ist der GPS-Positionsfehler ersichtlich. Hier fallen die Problemzonen von GPS durch signifikantes Anwachsen des Positionsfehlers ins Auge. Während dieser Zeiten

kommt es auch zu den größten Koordinatendifferenzen, die auch von ihrem allgemeinen Trend eines nahezu quadratischen Anstiegs abweichen. Überraschend ist das sehr gute Verhalten der Vertikalrichtung, die mit INS üblicherweise am schlechtesten zu bestimmen ist.

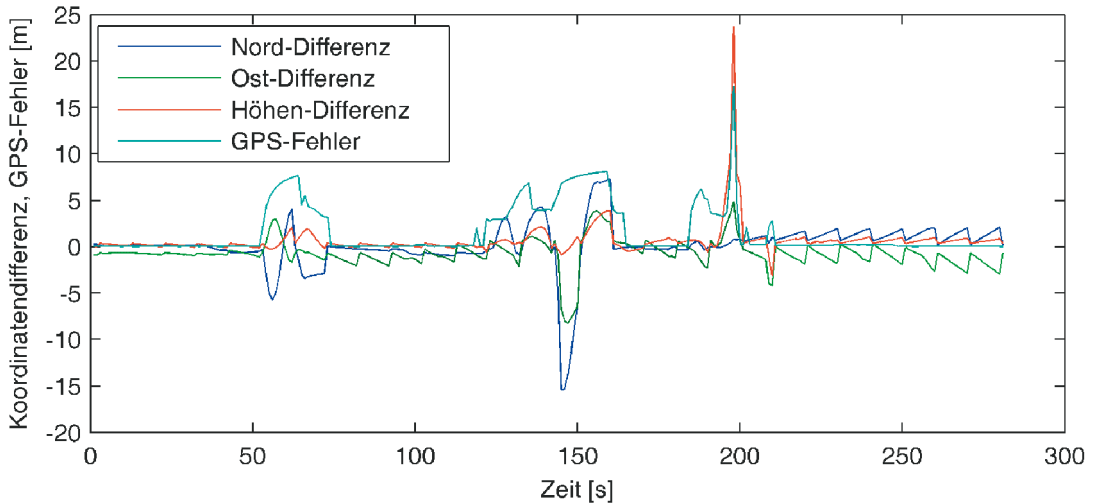


Abb. 6: Koordinatendifferenzen: ungekoppeltes GPS/INS – GPS, GPS-Positionsfehler

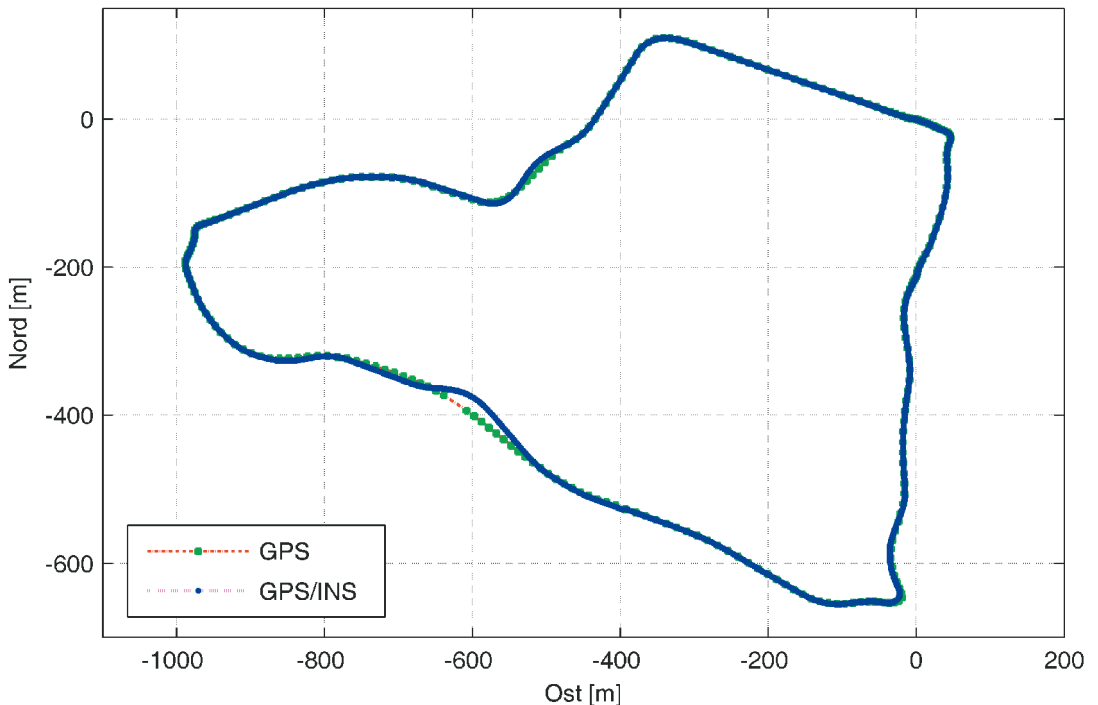


Abb. 7: 2D-Darstellung: GPS vs. lose GPS/INS-Kopplung

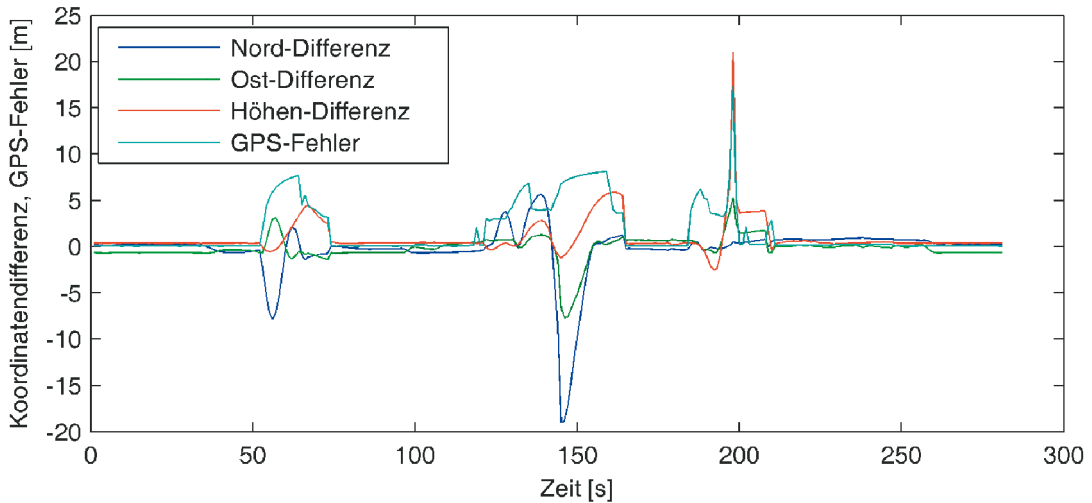


Abb. 8: Koordinatendifferenzen: lose GPS/INS-Kopplung – GPS, GPS-Positionfehler

### 4.3. Ungekoppelte Integration

Für die ungekoppelte Integration wird hier wieder die Zeitreihe der Koordinatendifferenzen dargestellt. In Abbildung 6 ist sehr schön das „unbarmherzige“ Rücksetzen der INS-Lösung durch GPS zu sehen (d.h. ohne Berücksichtigung des GPS-Positionsfehlers), das hier zur besseren Sichtbarkeit in 10-Sekunden-Intervallen durchgeführt wird. Die INS-Abweichungen steigen mit zunehmender Fortdauer immer rascher an, da die residualen Messfehler des INS unkorrigiert bleiben. Die verbleibenden Abweichungen beim Rücksetzen der INS-Positionen ergeben sich aus der Positionsdifferenz der GPS-Antenne und des IMU-Koordinatenursprungs. Die größten und unregelmäßigen Differenzen sind wieder in jenen Bereichen anzutreffen, wo GPS aufgrund von Abschattungen nur unzureichend funktioniert.

### 4.4. Lose Kopplung

Abbildung 7 zeigt die horizontale Position der losen GPS/INS-Kopplung im Vergleich zu GPS (1 Hz Integrationsrate). Der glatte Verlauf des Ergebnisses resultiert aus den INS-Daten. Deutlich sind die GPS-Problembereiche zu erkennen, in denen die integrierte Lösung dem im Orthophoto ersichtlichen Straßenverlauf folgt. Damit kann durch die Hinzunahme von INS die GPS-Lösung deutlich verbessert werden. Die fehlerhaften GPS-Positionen werden korrigiert und die Datenlücke (sichtbar im südlichen Bereich) erfolgreich überbrückt. Diese Erkenntnisse können auch aus der zugehörigen Zeitreihendarstellung gewonnen

werden (Abbildung 8). Obwohl die selbst entwickelte GPS/INS-Software eine wesentlich detailliertere Analyse der Ergebnisse erlaubt, muss hier aus Platzgründen darauf verzichtet werden.

### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden die theoretischen Grundlagen der Inertialnavigation sowie zweier Varianten der GPS/INS-Integration erläutert. Das zu erwartende Verhalten der Navigationssysteme wurde durch einen kurzen aber sehr anschaulichen realen Datensatz verifiziert. Die Berechnung dafür erfolgten mit einer am INAS selbst entwickelten INS- und GPS/INS-Integrationssoftware auf Basis von Matlab. Die Ergebnisse der Software wurden weiters anhand des kommerziellen Produkts KingsPAD überprüft, das für Testzwecke zur Verfügung gestellt worden war.

Ziel dieser gesamten Entwicklung ist die Festigung des Forschungsbereichs INS bzw. GPS/INS am INAS. In Kooperation mit dem Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik (MEL), das ebenfalls an der TU Graz angesiedelt ist, wurde Mitte 2004 mit der Entwicklung eines eigenen INS unter Verwendung bestehender Sensoren begonnen. Erste Ergebnisse mit diesem System verliefen bereits erfolgreich, sodass eine operationelle Version bis Mitte 2005 erwartet wird.

Im November 2004 wurde dem Autor vom Österreichischen Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung (FWF) ein Erwin-Schrödinger-Auslandsstipendium zuerkannt. Bei dem zugrunde liegenden Projekt, das ab Juni

2005 am Institut für Geomatik der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) durchgeführt und 18 Monate dauern wird, geht es um den Einsatz von GPS/INS zur direkten Georeferenzierung von Laserscanner-Daten, die von einem Hubschrauber aus erfasst werden. Folglich bilden die GPS/INS-Arbeiten am INAS auch einen persönlichen Forschungsschwerpunkt des Autors.

#### Dank


Dank gebührt dem Institutsleiter des INAS, Univ.-Prof. Bernhard Hofmann-Wellenhof, der mir stets genug Freiraum lässt, um meine eigenen Arbeitsschwerpunkte zu setzen, meinem Kollegen ao.Univ.-Prof. Norbert Kühtreiber, der mich in der Vorbereitung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt hat, den geodätischen Instituten der TU München für die Bereitstellung des iMAR-Systems, Dipl.-Ing. Hans-Peter Ranner für die Sorgfalt bei der Durchführung seiner Masterarbeit sowie den Mitarbeitern des MEL, allen voran Dipl.-Ing. Martin Joch, ohne deren aktive Kooperation die Entwicklungen der vergangenen Monate nicht möglich gewesen wären.

#### Literatur

- [1] Beyer J, Wigger B (2001): Grundlagen der Navigation und Anwendungen I + II. Skriptum zur Vorlesung an der Technischen Universität Darmstadt.
- [2] Hofmann-Wellenhof B, Legat K, Wieser M (2003): Navigation – principles of positioning and guidance. Springer, Wien.

- [3] Ranner HP (2004): GPS/INS für Transportanwendungen im Alpenraum. Masterarbeit, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz.
- [4] Jekeli C (2001): Inertial navigation systems with geodetic applications. De Gruyter, Berlin.
- [5] Titterton DH, Weston JL (1997): Strapdown inertial navigation technology. Peter Peregrinus, London.
- [6] Tazartes DA, Kayton M, Mark JM (1997): Inertial navigation. In Kayton M, Fried WR (eds): Avionics navigation systems, 2<sup>nd</sup> edition. Wiley, New York: 313–392.
- [7] Grewal MS, Weill LR, Andrews AP (2001): Global positioning systems, inertial navigation, and integration. Wiley, New York.
- [8] Dorobantu R, Gerlach C (2004): Investigation of a navigation-grade RLG SIMU type iNAV-RQH, IAPG/FESG No. 16. Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie, Technische Universität München.
- [9] Greenspan RL (1996): GPS and inertial navigation. In: Parkinson BW, Spilker JJ (eds): Global positioning system – theory and applications, vol 2. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington DC: 187–220.

#### Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Legat, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie (INAS), 8010 Graz, Steyrergasse 30, Web: [www.inas.tugraz.at](http://www.inas.tugraz.at), E-Mail: [legat@tugraz.at](mailto:legat@tugraz.at) 

## Herleitung digitaler Oberflächenmodelle aus hochauflösenden Stereo-Bilddaten im alpinen Gelände



Karlheinz Gutjahr, Hannes Raggam und Martina Franke, Graz

### Zusammenfassung

Hochauflösende optische Satellitensysteme, welche nominelle Bodenauflösungen von wenigen Metern bzw. im Submeterbereich erreichen, kommen in der Fernerkundung verstärkt zum Einsatz. Diese Systeme bieten vielfach auch die Möglichkeit, Stereodaten in einem einzigen Überflug aufzunehmen. Im Forschungsprojekt „Operational Monitoring of European Glacial Areas“ im 5. EU-Rahmenprogramm wurde das Potential solcher hochauflösender Stereo-Bilddaten zur Herleitung digitaler Oberflächenmodelle anhand eines alpinen Testgebietes in den Ötztaler Alpen demonstriert. In dieser Arbeit werden die einzelnen Schritte der stereometrischen Prozessierungskette diskutiert und die erzielten Ergebnisse anhand von Referenzdaten analysiert.

### Abstract

High resolution optical spaceborne systems which achieve nominal ground resolutions of a few meters or less than one meter, respectively, are increasingly used in remote sensing. These systems in many cases are equipped with the capability to acquire stereo data in a single overflight. In the research project „Operational Monitoring of European Glacial Areas“ of the 5<sup>th</sup> EU framework programme the potential of such high resolution stereo image data to generate digital surface models was demonstrated for an alpine test area in the Ötztal alps. In this paper the individual steps of the stereometric processing chain are discussed and the obtained results are analysed with respect to reference data.

### 1. Einleitung

In der Fernerkundung etablieren sich vermehrt hochauflösende optische Satellitensysteme, welche Aufnahmen mit hohem Detailreichtum und einer Bildpunktauflösung im Meter- und Submeterbereich ermöglichen und im weitesten Sinne den Brückenschlag zur Luftbild-Photogrammetrie herstellen. Zusätzlich zur hohen Bodenauflösung bieten diese Systeme vielfach auch die Möglichkeit, Stereo-Bildpaare innerhalb eines Überflugs („in-track“) aufzunehmen.

Dies erfolgt durch Aufnahme eines Gebietes durch vorwärts- bzw. rückwärts-verschwenkte Sensoren. Hierfür können zwei separate Sensoren verwendet werden, wie z.B. beim HRS (High Resolution Stereo)-Instrument von Spot 5 oder dem PRISM-Instrument der japanischen Alos-Mission, oder es kann ein einzelner Sensor zur Akquisition der Stereo-Bilddaten entsprechend gesteuert werden, wie dies z.B. bei den Systemen von Eros, Ikonos oder Quickbird der Fall ist. Der Vorteil dieser „in-track“-Stereo-Konstellationen liegt in der nahezu zeitgleichen Datenaufnahme, sodass die Daten nicht mit zeitlich bedingten unterschiedlichen Bildinhalten behaftet sind.

Die gegenständliche Arbeit bezieht sich auf das Potential hochauflösender Stereo-Daten der Sensoren Eros und Ikonos im Zusammenhang mit der Herleitung von Oberflächenmodellen in alpinem Gelände. Der Hintergrund der Untersuchungen ist durch das Forschungsprojekt „Operational Monitoring of European Glacial Areas“ (OMEGA; Sharov et al., 2002) im 5. EU-Rahmenprogramm gegeben. Im Rahmen dieses Projektes wurde für den Hintereisferner-Gletscher in den Ötztaler Alpen versucht, die aktuelle Gletscheroberfläche aus hochauflösenden Stereo-Bilddaten zu berechnen und zu Aussagen hinsichtlich des Gletscher-Rückgangs im Vergleich zu Referenzdaten aus dem Jahre 1974 zu kommen.

Die wesentlichen Schritte der klassischen stereometrischen Prozessierungskette bestehen in der Sensormodellierung (Orientierung), in der automatischen Bildkorrelation sowie in der Herleitung von Oberflächenmodellen aus den Korrelationsergebnissen. Diese Aspekte wurden für die genannten hochauflösenden Sensoren Eros und Ikonos im Rahmen dieser Arbeit durchleuchtet. Darüber hinaus wurde auch ein alternatives Verfahren zur Herleitung von 3D-Oberflächenmodellen untersucht, welches auf vorentzerrten

Stereo-Bilddaten (Stereo-Orthophotos) beruht (siehe auch Schenk et al., 1990 oder Norvelle, 1996).

Zur Auswertung wurde das *Remote Sensing Software Package Graz* (RSG; JOANNEUM RESEARCH, 2005) verwendet, welches am Institut entwickelt wurde. Dieses ist für geometrische Prozessierungsanforderungen einer Vielzahl von Fernerkundungsbilddaten konzipiert und bietet somit auf die gegenständlichen Arbeiten bezogen auch die grundlegenden Algorithmen bzw. die Basis für allfällig notwendige algorithmische Erweiterungen.

## 2. Die Aufnahmesysteme Eros und Ikonos

Zusätzlich zur hohen Bodenauflösung bieten der Eros- wie auch der Ikonos-Sensor die Möglichkeit, Stereobilder während eines Überflugs aufzunehmen. Erreicht wird dies durch Verschwenken eines Sensors während des Überflugs (siehe Abbildung 1). Einige Kenngrößen dieser beiden Aufnahmesysteme sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Eros A1 hat nur einen panchromatischen Sensor, dessen nominelle Bodenauflösung bei etwa 1.8 Metern im Falle von Nadiraufnahmen liegt. Der Sensor ist in jede beliebige Richtung um bis zu 45° aus dem Nadir verschwenkbar. Die geplanten B-Satelliten sollen eine höhere Auflösung von 0.9 Metern aufweisen und zusätzlich mit einem multispektralen Sensor ausgestattet werden. Der Eros-Satellit zeichnet nicht wie andere optische Satelliten in einem synchronen Modus mit konstantem Aufnahmewinkel auf, sondern asynchron. Hierbei wird der Sensor entgegen der Flugrichtung nachgedreht (siehe Abbildung 2), um eine im Vergleich zur Fluggeschwindigkeit geringere Aufnahmegeschwindigkeit und dadurch die hohe Bildauflösung zu erreichen.

An Bord von Ikonos befinden sich ein panchromatischer Sensor, welcher bei einer Nadiraufnahme mit einer nominellen Bodenauflösung von 1 Meter aufzeichnet und ein multispektraler Sensor mit vier Kanälen, der Daten mit einer Bodenauflösung von nominell 4 Metern liefert. Ikonos ist in der Lage, seine Aufnahmesysteme um bis zu 26° in jede Richtung zu verschwenken. Mehr Details können auf den Homepages der Betreiberfirmen Imagesat International und Space Imaging (Ref. [5] bzw. Ref. [13]) nachgelesen werden.

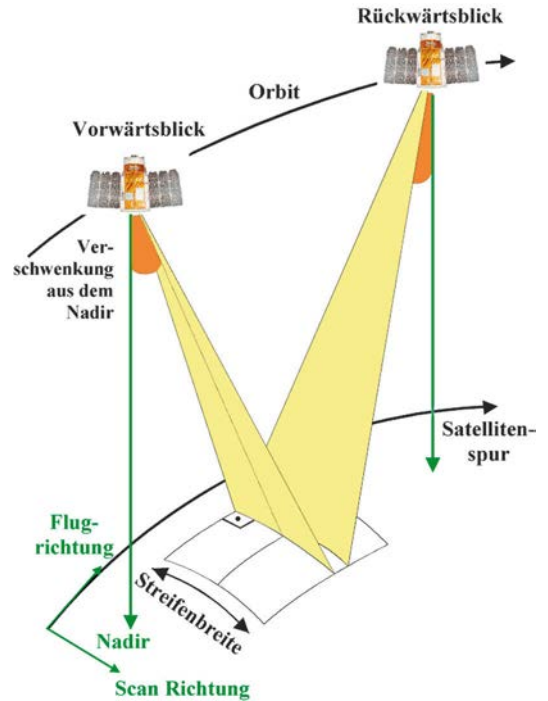


Abb. 1: In-track Stereoaufnahme

	Eros 1A	Ikonos
Start	05.12.2000	24.09.1999
Betreiber	ImageSat Int.	Space Imaging
Flughöhe	480 km	618 km
Inklination	97.3°	98.1°
Streifenbreite	13.5 km	11 km
Auflösung	1.8 m Pan	1 m Pan, 4 m MS
Verschwenkung	Max. 45°	Max. 26°

Tab. 1: Kenngrößen der verwendeten Aufnahmesysteme

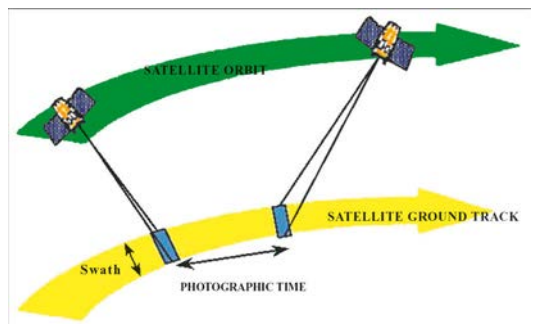


Abb. 2: Aufnahmedynamik des Eros-Sensors (Homepage Imagesat International; Ref. [5])

**3. Bild- und Referenzdaten**

**3.1. Bilddaten**

Der Hintereisferner-Gletscher befindet sich in den Öztaler Alpen südwestlich von Innsbruck (siehe Abbildung 3). Dieser Gletscher wird seit langem auch durch terrestrische Messungen beobachtet, weshalb er auch beispielhaft für die Untersuchungen im Rahmen des OMEGA-Projektes gewählt wurde.

Für die Arbeiten wurden panchromatische Stereodaten des Eros-Systems sowie panchromatische Ikonos-Stereoaufnahmen verwendet. Bei den Eros-Daten deckt der Vorwärtsblick nur den Bereich der Gletscherzunge des „Hintereisferners“ ab, in allen anderen Bildern ist der gesamte Gletscherbereich abgebildet. In Tabelle 2 sind einige geometrisch relevante Aufnahmeparameter dieser Bilddaten zusammengestellt. Die Stereo-Bilddaten von Eros bzw. Ikonos sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 zu sehen.

Parameter	Eros	Ikonos
Aufnahmedatum	01.10.2002	12.08.2003
Aufnahmezeit	09:30 GMT	10:22 GMT
Basis/Höhe	≈ 1.19	≈ 0.54
Off-Nadir / Fwd	37.03° – 24.15°	28.99°
Off-Nadir / Bwd	24.21° – 37.54°	15.72°
Auflösung	2.4 m	1.0 m

Tab. 2: Aufnahmeparameter der Eros- und Ikonos-Bildpaare

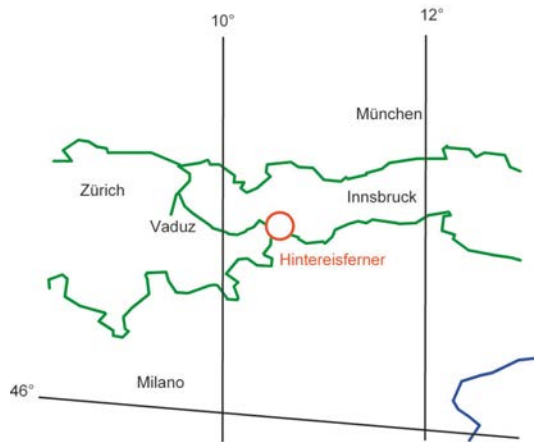


Abb. 3: Lage des Testgebietes

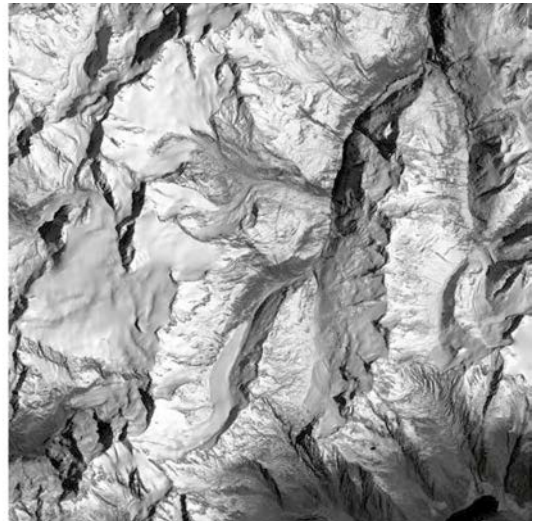


Abb. 4: Eros-Stereobilddaten (Links: Vorwärtsblick; rechts: Rückwärtsblick).

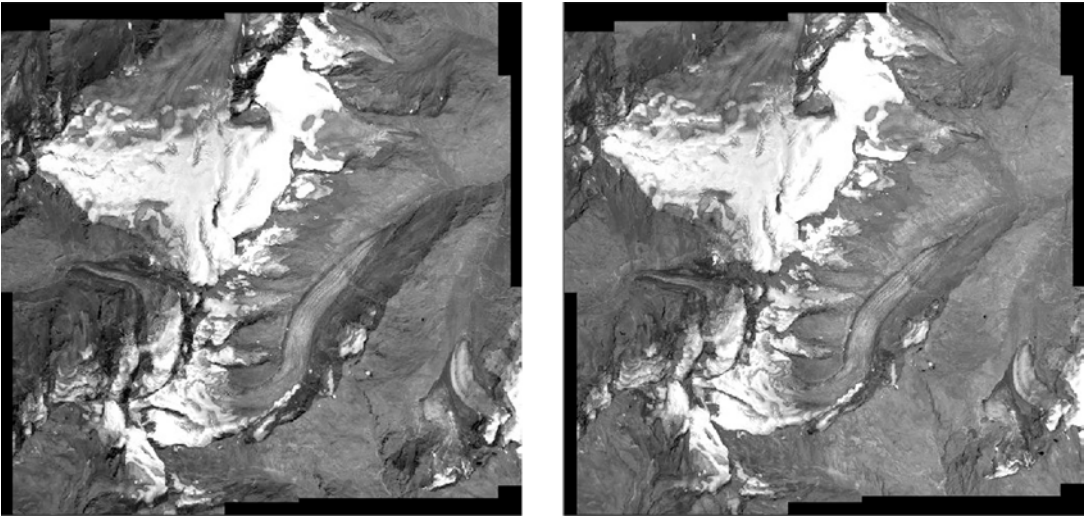


Abb. 5: Ikonos- Stereobilddaten (Links: Vorwärtsblick; rechts: Rückwärtsblick).

### 3.2. Referenzdaten

Für die geometrische Sensormodellierung, zur Evaluierung der Sensor-Abbildungsgenauigkeit sowie zur Verifizierung allfälliger Ergebnisse werden in der Regel Kontrollpunkte und anderweitige Referenzdaten benötigt. Zur Passpunkt-messung standen für dieses Testgebiet digitale Orthophotos des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen aus dem Jahr 1997 mit einer Auflösung von 2 Metern sowie Katastertriangulierungspunkte zur Verfügung.

Als Höhenreferenz konnte ein digitales Geländemodell mit einer Auflösung von 25 Metern

verwendet werden. Dieses wurde am Institut aus topographischen Karten im Maßstab 1 : 50.000 hergeleitet, welche den Status des Jahres 1974 repräsentieren. Auf Grund dieser zeitlichen Referenz, aber auch auf Grund des reduzierten Detailgehalts der zugrunde liegenden Karten ist dieses Geländemodell nur bedingt im Zusammenhang mit kartographischen Anwendungen hochauflösender Satellitenbilddaten brauchbar, da diese in der Regel ein wesentlich höheres Genauigkeitspotential bieten. Eine beleuchtete Darstellung des digitalen Referenz-Höhenmodells mit dem Detailgebiet des Hintereisferners zeigt Abbildung 6.

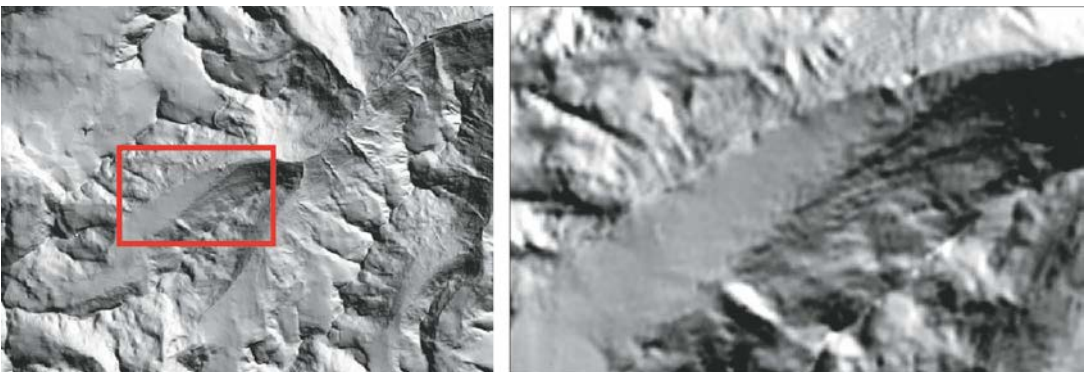


Abb. 6: Digitales Referenz-Geländemodell (links) und Detail-Testgebiet „Hintereisferner“ (rechts).

## 4. Stereoprozessierung der Eros- und Ikonos-Bilddaten

### 4.1. Sensormodellierung

Das mathematische Abbildungsmodell (Sensormodell) dient der Transformation eines Bildpunktes zum entsprechenden Bodenpunkt auf der Erdoberfläche. Das konventionelle Sensormodell für optische Zeilenscanner enthält im wesentlichen Parameter der äußeren Orientierung. Diese werden auf Grund der dynamischen Aufnahmecharakteristik von Zeilenscannern im Allgemeinen zeitvariabel modelliert. Daraus folgen modifizierte Kollinearitätsgleichungen, welche z.B. die Transformation zwischen Bodenpunkt  $(X, Y, Z)$  und Bildpunkt  $(x, y)$  ermöglichen:

$$\begin{aligned}x &= g_x(X, Y, Z) \\ y &= g_y(X, Y, Z)\end{aligned}$$

Die Berechnung von Bodenkoordinaten  $(X, Y, Z)$  aus stereoskopischen Bildpunktmessungen  $(x_1, y_1; x_2, y_2)$  beruht auf einem Paar solcher Kollinearitätsgleichungen und einem auf Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate beruhenden räumlichen Vorwärtsschnitt (Raggam et al., 1990).

Für einige Aufnahmesysteme der jüngeren Vergangenheit wurde dazu übergegangen, anstatt oder auch zusätzlich zu Informationen bzgl. der äußeren Orientierung sogenannte rationale Polynomkoeffizienten (RPC – rational polynomial coefficients) zur Verfügung zu stellen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen Boden- und Bildkoordinaten durch den Quotienten zweier kubischer Polynome beschrieben:

$$x = \frac{f_x(X, Y, Z)}{g_x(X, Y, Z)} \quad y = \frac{f_y(X, Y, Z)}{g_y(X, Y, Z)}$$

Die rationalen Polynomkoeffizienten beziehen sich hierbei grundsätzlich auf geographische Bodenkoordinaten sowie das globale WGS84-Erdellipsoid.

Dieser Ansatz trifft im gegenständlichen Fall für die Ikonos-Stereodaten zu. Aus diesem Grund musste auch die RSG-Software um die RPC-basierte Abbildungsvorschrift und die damit verbundenen Transformationsroutinen erweitert werden. Für die Eros-Daten konnte grundsätzlich der für optische Zeilenscanner-Daten implementierte Modellierungsansatz verwendet werden. Für beide Datensätze mussten jedoch entsprechende Import-Funktionen implementiert werden, um die Bilddaten und die zugehörigen Abbil-

dungsparameter bzw. rationalen Polynomkoeffizienten zu lesen und weiterführend aufzubereiten.

In der Regel sind die auf diesem Weg geschaffenen Initial-Abbildungsmodelle zu ungenau oder überhaupt unvollständig. Unter Verwendung von Passpunkten und Ausgleichsverfahren nach der Methode der kleinsten Quadrate können die Abbildungsmodelle optimiert werden. In Bezug auf die rationalen Polynome von Ikonos wurde hierbei von Dial und Grodecki (2002) festgestellt, dass es ausreichend ist, die Genauigkeitsdefizite der RPC-basierten Transformation durch zusätzliche Parameter, welche einer Affin-Transformation entsprechen, zu kompensieren:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{x,0} \\ C_{y,0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_{x,x} & C_{x,y} \\ C_{y,x} & C_{y,y} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Referenzdaten konnten 18 Passpunkte in den Eros-Szenen bzw. 24 Passpunkte in den Ikonos-Szenen gemessen werden und mit diesen die zugehörigen Sensormodelle wie erwähnt optimiert werden.

Aussagen über die Modellierungsgenauigkeit können bezogen auf das Einzelbild durch Rücktransformation eines Passpunktes ins Bild und Vergleich der errechneten mit den gemessenen Bildkoordinaten gewonnen werden. Statistische Kenngrößen der für die Eros- und Ikonos-Bilddaten resultierenden Punktlagefehler sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Für die Eros-Daten wird eine Lagegenauigkeit von knapp 2 Pixel ( $1\sigma$ ) erreicht, während jene der Ikonos-Bilddaten im Subpixel-Bereich liegt. Die schlechtere Genauigkeit der Eros-Daten ist auf den asynchronen Aufnahmemodus und den Umstand zurückzuführen, dass diese Asynchronität im Vergleich zu herkömmlichen Zeilenscanner-Bilddaten und mit den dafür verwendeten Ansätzen prinzipiell schwierig zu modellieren ist.

Bezogen auf das Stereo-Bildpaar können für homologe Passpunktmessungen mittels räumlichem Vorwärtsschnitt Bodenkoordinaten errechnet und mit den gemessenen Bodenkoordinaten verglichen werden. Statistische Parameter der für die Testdaten resultierenden 3D-Punktresiduen sind in Tabelle 4 zusammengestellt und erlauben Rückschlüsse auf erzielbare (a-posteriori) Genauigkeiten. Für die Eros-Stereodaten wurde auf diesem Weg eine Lage- und Höhengenaugigkeit von ca. 3 Metern ( $1\sigma$ ) prognostiziert. Für die Ikonos-Stereodaten ergeben sich der höheren Bildpunktauflösung und Aufsetzgenauigkeit ent-



sprechend eine Lagegenauigkeit von weniger als 1 Meter ( $1\sigma$ ) und eine Höhengenaugigkeit von 1.5 Metern ( $1\sigma$ ).

		Azimut	Scan	Länge
Eros-Fwd (22 Punkte)	RMS	1.50	0.99	1.80
	MIN	-2.24	-2.08	0.33
	MAX	4.34	1.66	4.44
Eros-Bwd (33 Punkte)	RMS	1.44	1.59	2.14
	MIN	-2.84	-3.37	0.57
	MAX	3.38	3.83	4.97
Ikonos-Fwd (24 Punkte)	RMS	0.51	0.78	0.93
	MIN	-1.10	-2.22	0.25
	MAX	0.91	1.85	2.23
Ikonos-Bwd (24 Punkte)	RMS	0.56	0.49	0.75
	MIN	-1.29	-1.07	0.15
	MAX	1.09	1.36	1.53

Tab. 3: Punktresiduen der verwendeten Bilddaten.

		Ost	Nord	Höhe	Länge
Eros (18 Punkte)	RMS	2.8	2.1	3.2	-4.7
	Min	-6.4	-4.4	-5.6	2.2
	Max	4.8	4.2	5.4	8.1
Ikonos (24 Punkte)	RMS	0.6	0.5	1.5	1.7
	Min	-1.9	-1.0	-2.6	0.4
	Max	1.1	1.1	3.3	3.3

Tab. 4: A-posteriori-Aufsetzgenauigkeit der Eros- und Ikonos-Stereomodelle

## 4.2. Automatische Bildkorrelation

Bei der automatischen Bildkorrelation (*Image Matching*) werden einander entsprechende Bildpunkte mit Hilfe der Grauwertverteilung in den beiden Stereobildern gesucht. Die relativen Positionsdifferenzen dieser Bildpunkte sind als Stereo-Parallaxen bekannt. Im Programmpaket RSG sind verschiedene Methoden zur Bildkorrelation mit zahlreichen Prozessierungsoptionen implementiert, welche von Perko (2001) zusammenfassend beschrieben wurden.

Für die Stereo-Korrelation von Fernerkundungs-Bilddaten früherer Aufnahmesysteme wurde unter Berücksichtigung von Rechenzeit und Qualität der Ergebnisse bevorzugt das von Paar und Pölzleitner (1992) implementierte „Feature-Vector-Verfahren“ verwendet. Für neue, hochauflösende Bilddaten hingegen hat sich in

Untersuchungen von Franke (2003) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Oberflächenstrukturen wie Wald, Vegetation oder bebautes Gebiet die Kreuzkorrelation als bestgeeignetes Verfahren erwiesen.

Auf Grund dieser Erkenntnisse wurde die Entwicklung eines hybriden Korrelations-Verfahrens ins Auge gefasst und von Caballo-Perucha (2003) realisiert, in welchem die beiden genannten Verfahren verknüpft werden. Neben den zahlreichen für das Feature-Vector-Matching vorgesehenen Operatoren kann hierbei auch der Kreuzkorrelations-Koeffizient als zusätzliche Feature-Ebene verwendet werden. Dieses Verfahren hat sich in ersten Tests als sehr leistungsfähig herausgestellt und wurde demnach auch für das gegenständliche Vorhaben verwendet.

Für die Bildkorrelation ist es in der Regel vorteilhaft, die Bilder vorweg grob zueinander zu registrieren, wodurch pseudo-epipolare Bildpaare mit einer zumindest bei klassischen Stereo-Bilddaten ausgezeichneten Parallaxenrichtung erzeugt werden. Dadurch kann der Suchbereich bei der Bildkorrelation eingeschränkt und damit sowohl Rechenaufwand als auch Fehlkorrelationen reduziert werden. Bei den Ikonos-Szenen erübrigt sich dieser Vorverarbeitungsschritt, da diese bereits in einer quasi-epipolaren Geometrie mit den Parallaxen in einer ausgezeichneten Richtung vorliegen. Andererseits kann für die Eros-Szenen auf Grund des asynchronen Aufnahmemodus auch durch die Grobregistrierung keine ausgezeichnete Parallaxenrichtung gefunden werden (Abbildung 7; Raggam et al., 2004). Dieses Parallaxenverhalten wird auch aus den Illustrationen der Abbildung 8 ersichtlich, welche Anaglyphendarstellungen der (registrierten) Stereo-Bilddaten zeigt.

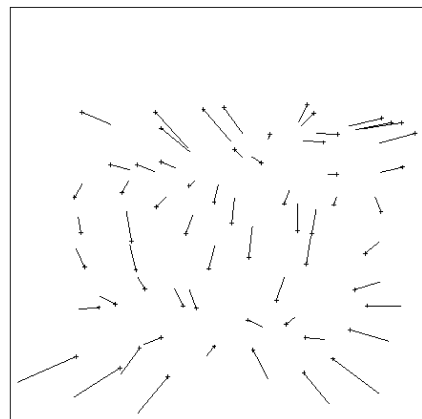


Abb. 7: Stereo-Parallaxen der Eros-Stereobilddaten.

Die Erfolgsrate der automatischen Bildkorrelation hängt grundsätzlich von den geometrischen und radiometrischen Eigenschaften der Stereo-Bilddaten ab. Starke geometrische Unterschiede aufgrund von extremen Aufnahmesituationen, d.h. bei großem Basis/Höhen-Verhältnis, sowie homogene Bildbereiche mit wenig Textur erschweren das Korrelationsvorhaben. Während ersteres Problem speziell bei den vorliegenden Eros-Bilddaten mit einem Basis/Höhen-Verhältnis von etwa 1.2 auftritt, ist die durch schnee- und gletscherbedeckte Bereiche oder auch durch Schattenzonen bedingte radiometrische Homogenität ein grundlegendes Problem für dieses alpine Testgebiet. Eine Illustration beider Faktoren ist für einen Detailausschnitt in Abbildung 9 dargestellt. Das Eros-Bildpaar zeigt hier im Vergleich zu den Ikonos-Bilddaten sowohl extreme geometrische Unterschiede wie auch ausgedehnte abgeschattete Bereiche, in welchen das Geländere relief nicht mehr erkennbar ist.

Als Kontroll- und Qualitätskriterium für die Korrelation der vorliegenden Bilddaten wurde die Rückwärtskorrelation („Backmatching“) verwendet. Die Lagedifferenz zwischen Ausgangs-Bild-

punkt und dem über die Rückwärtskorrelation gefundenen Punkt kann als Indikator für eine erfolgreiche Bildkorrelation verwendet werden. Je größer diese Backmatching-Distanz ist, desto fragwürdiger ist das Korrelationsergebnis.

In der Tabelle sind statistische Angaben zur Backmatching-Distanz für die vorliegenden Stereo-Bilddaten zusammengestellt. Erwartungsgemäß ist der Prozentsatz fragwürdiger Matching-Ergebnisse – in diesem Fall solche mit einer Backmatching-Distanz größer 3 Pixel – für die Eros-Daten deutlich höher als für die Ikonos-Daten. Die kritischen Bereiche der Bildkorrelation werden auch durch Abbildung illustriert, in welcher die aus dem Backmatching resultierenden Lageunterschiede den Bilddaten in Blau überlagert dargestellt sind.

	Eros	Ikonos
Mittelwert	2.41	0.65
Standardabweichung	3.63	1.09
> 3 Pixel	22.37 %	4.09 %

Tab. 5: Backmatching-Statistik für die Korrelation der Stereo-Bilddaten.

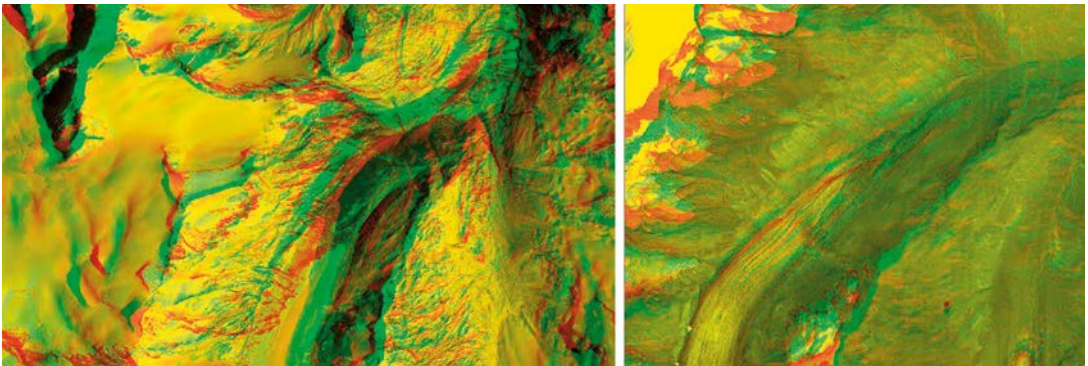


Abb. 8: Anaglyphendarstellung (Rot: Vorwärtsblick; Grün: Rückwärtsblick) der Eros- (links) bzw. Ikonos-Bilddaten (rechts).

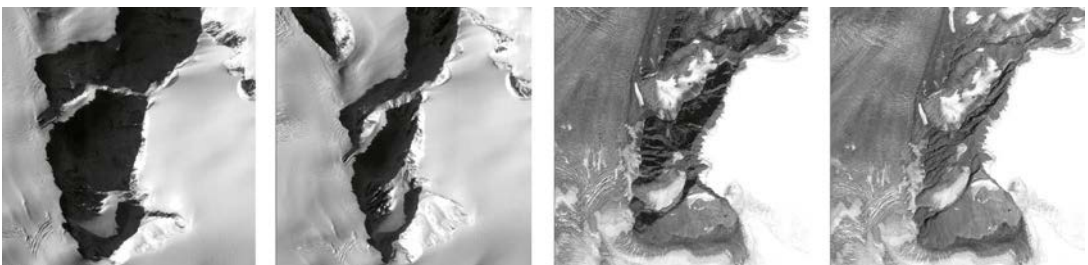


Abb. 9: Illustration geometrischer Unterschiede in Eros- (links) bzw. Ikonos-Bilddaten (rechts).

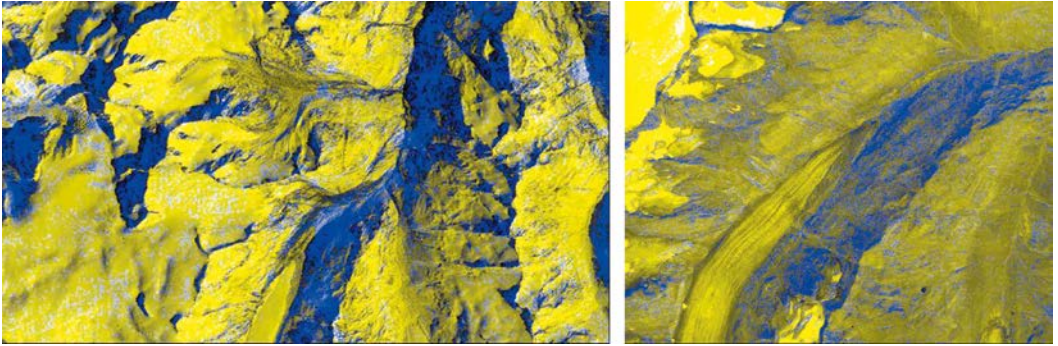


Abb. 10: Kritische Bereiche (in blau) bei der Korrelation der Eros- (links) und Ikonos-Bilddaten (rechts).

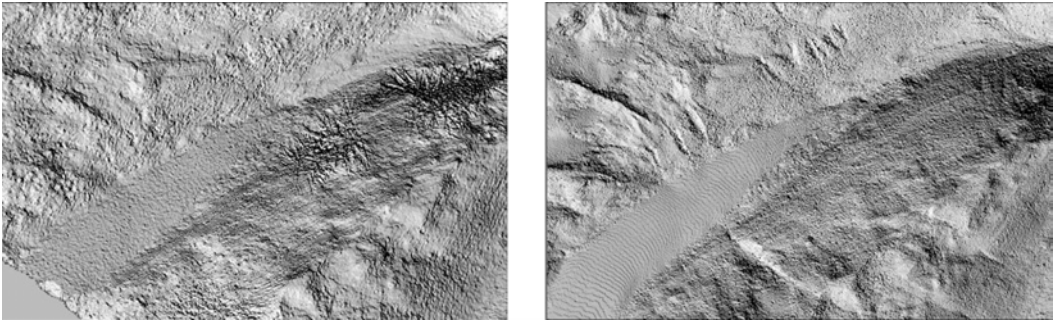


Abb. 11: Stereo-Oberflächenmodell in Reliefdarstellung für Eros (links) bzw. Ikonos (rechts).

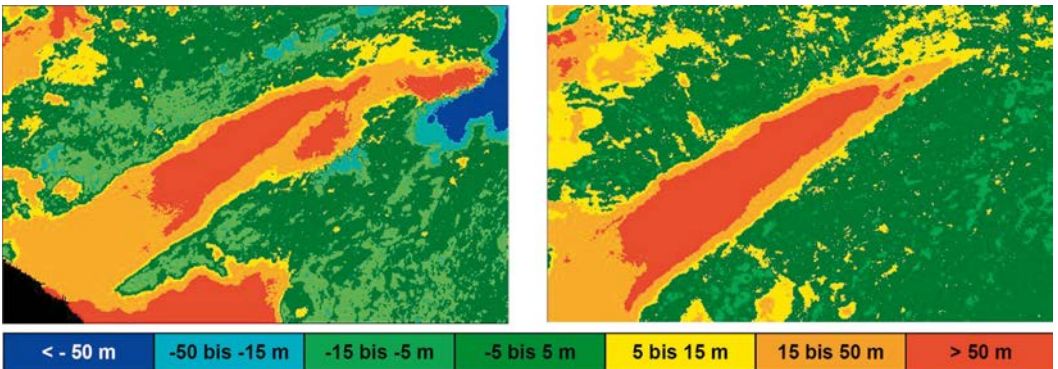


Abb. 12: Höhendifferenzen zum Referenz-Geländemodell für Eros (links) bzw. Ikonos (rechts)

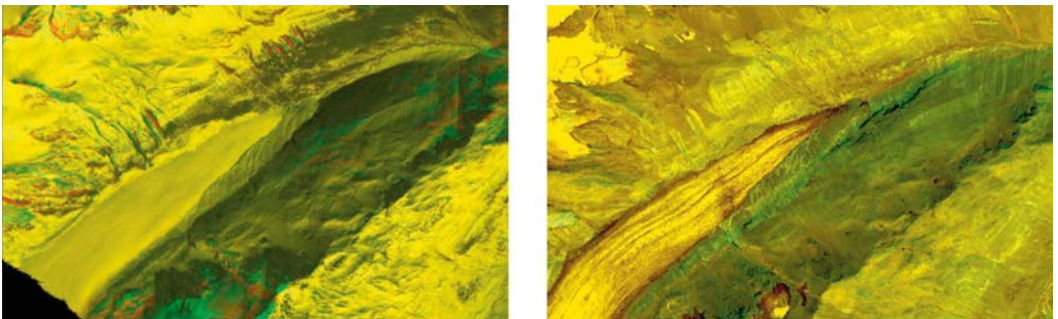


Abb. 13: Mittels Stereo-Oberflächenmodell erstellte Stereo-Orthophotos in Anaglyphendarstellung (l: Eros; r: Ikonos).

### 4.3. Generierung von Oberflächenmodellen

Zur Generierung von Oberflächenmodellen werden zunächst aus den Korrelationsergebnissen mittels räumlichem Vorwärtsschnitt die zugehörigen Bodenkoordinaten berechnet. Diese Prozedur ist im Softwarepaket für jegliche herkömmliche Abbildungsgeometrien implementiert (Raggam et al., 1990) und musste für diese Untersuchungen auf die RPC-Abbildungsvorschrift der Ikonos-Stereodaten adaptiert werden. Aus der resultierenden 3D-Punktwolke wird schlussendlich mittels geeigneter Interpolationsverfahren ein regelmäßiges Raster-Oberflächenmodell generiert.

Abbildung 11 zeigt die für das Detailtestgebiet des Hintereisferner-Gletschers aus den Eros- bzw. Ikonos-Stereodaten hergeleiteten Oberflächenmodelle. Eine naheliegende Maßnahme zur Genauigkeitsabschätzung dieser Oberflächenmodelle besteht im direkten Vergleich mit dem Referenz-Geländemodell. Die daraus resultierenden Höhenunterschiede sind in Abbildung 12 für Eros bzw. Ikonos dargestellt. In beiden Fällen ergeben sich große Höhenunterschiede im Bereich zwischen 50 und 100 Metern über dem Hintereisferner-Gletscher (Bildmitte) wie auch über dem Vernaglwandferner-Gletscher (links oben). Diese spiegeln somit den Gletscherrückgang seit dem Jahr 1974 wider, nachdem sich das Referenz-Geländemodell auf diesen Zeitraum bezieht.

Das aus den Eros-Daten hergeleitete Oberflächenmodell zeigt auch in Bereichen außerhalb der Gletscherzonen – insbesondere in den abgeschatteten und somit für die Bildkorrelation kritischen Nordwest-Hängen – extrem große Höhenfehler und entspricht hier keinesfalls der prognostizierten Stereo-Genauigkeit (rechts oben bzw. links unten; vergleiche auch Abbildung 10).

Eine weitere Möglichkeit zur qualitativen Einschätzung der generierten Oberflächenmodelle besteht in der Generierung von Stereo-Orthophotos. Hierbei werden die beiden Stereo-Bilder mit diesen Oberflächenmodellen entzerrt. Sofern diese eine ansprechende Höhengenaugkeit aufweisen, sollten die Stereo-Orthophotos eine gute lagemäßige Übereinstimmung zeigen. Dies lässt sich durch Anaglyphendarstellungen, d.h. Rot-Grün-Überlagerungen der beiden Bilder sehr einfach visuell überprüfen. Abbildung 13 zeigt solche Darstellungen für die Eros- bzw. Ikonos-Stereo-Orthophotos. Während die Ikonos-Bilder eine sehr gute Übereinstimmung zeigen, sind für die Eros-Daten höhenfehlerbedingte Abweichun-

gen der Orthophotos deutlich erkennbar, da sich die höhenfehlerbehafteten Bereiche verstärkt in Rot oder Grün abheben. Zu beachten ist, dass solche Farbunterschiede auch durch grundlegende radiometrische Unterschiede der Stereo-Bilddaten verursacht werden können. Über dem Hintereisferner-Gletscher ist die Übereinstimmung in beiden Fällen sehr gut, was darauf schließen lässt, dass die aktuelle Gletscheroberfläche recht genau rekonstruiert werden konnte.

## 5. Verwendung von Stereo-Orthophotos

### 5.1. Beschreibung der Methode

Eine wirksame Methode, um allfällige Probleme bei der Stereo-Korrelation zu reduzieren, besteht in der Generierung von Stereo-Orthophotos mit Hilfe eines gegebenenfalls relativ ungenauen a-priori vorliegenden Geländemodells. Dadurch werden quasi besser zueinander registrierte Bildpaare generiert, für welche die Bildkorrelation auf Grund der größeren geometrischen Ähnlichkeit sowohl zeitlich als auch qualitativ in der Regel ein besseres Verhalten zeigt (siehe auch Schenk et al. 1990 oder Norvelle, 1996).

In der Abbildung 14 ist die Prozedur zur stereoskopischen Herleitung von Oberflächenmodellen aus derart vorregistrierten Bildpaaren dargestellt. In einem ersten Schritt werden die Originalbilder mit einem *A-priori-Geländemodell*, welches keine hohen Genauigkeitsanforderungen erfüllen muss, entzerrt. Auf Grund allfälliger Höhenfehler des A-priori-Geländemodells zeigen die resultierenden *Pseudo-Orthobilder* gegebenenfalls Lagefehler (Ortho Parallaxen), da im Zuge der Entzerrung infolge eines Höhenfehlers  $\Delta h$  der wahre Punkt P in die lageversetzten Punkte  $P_1$  bzw.  $P_2$  projiziert wird (siehe Abbildung 15).

Mittels Korrelation der Pseudo-Orthobilder sowie durch Einbeziehung des A-priori-Geländemodells wird die räumliche Lage von  $P_1$  und  $P_2$  bestimmt. Diese definieren mit den zugehörigen Aufnahmeorten zwei windschiefe Geraden in Raum, deren „Schnittpunkt“ den korrekten Punkt P liefert, welcher der Oberfläche des aktuellen Geländes entspricht. Aus den Korrelationsergebnissen kann somit wieder eine entsprechende 3D Punktwolke und durch nachfolgende Interpolation ein regelmäßiges Raster-Oberflächenmodell hergeleitet werden, welches letztendlich eine Aktualisierung des A-priori-Geländemodells repräsentiert. Dieses wird in weiterer Folge als Ortho-Stereo-Oberflächenmodell bezeichnet.

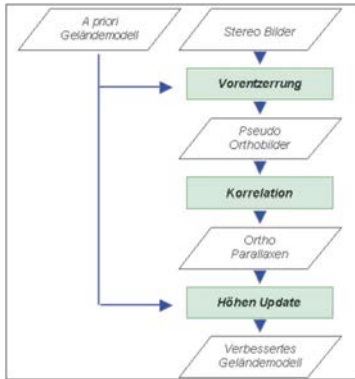


Abb. 14: Herleitung eines digitalen Oberflächenmodells aus vorentzerrten Stereobildern (Ortho-Stereo-Oberflächenmodell)

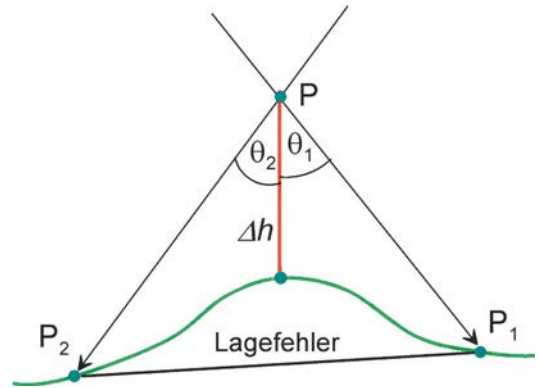


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Höhenfehler und Parallaxe der vorentzerrten Stereobilder

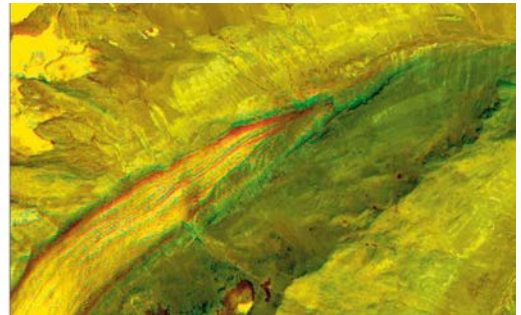
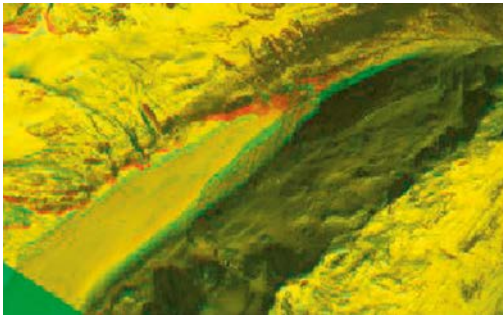


Abb. 16: Mittels Referenz-Geländemodell erstellte Stereo-Orthophotos in Anaglyphendarstellung (l: Eros; r: Ikonos).



Abb. 17: Aus Stereo-Orthophotos hergeleitete Oberflächenmodelle (links: Eros; rechts: Ikonos).

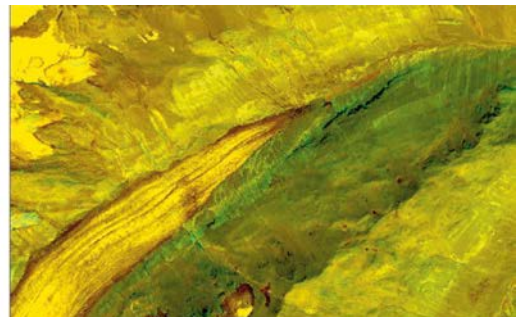
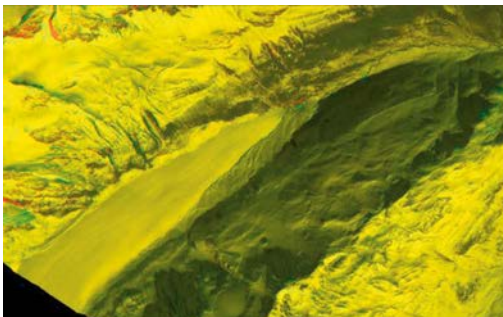


Abb. 18: Mittels Ortho-Stereo-Oberflächenmodell erstellte Stereo-Orthophotos in Anaglyphendarstellung (links: Eros; rechts: Ikonos).

**5.2. Anwendungsbeispiel**

Zur Vorentzerrung der vorliegenden Stereo-Bild-daten wurde das den Status des Jahres 1974 repräsentierende Referenz-Geländemodell mit einer Basis-Maschenweite von 25 Metern verwendet. Die daraus resultierenden Stereo-Ortho-photos sind in Abbildung 16 dargestellt. In diesem Fall werden insbesondere die durch die falschen bzw. nicht aktuellen Gletscherhöhen verursachten Lagefehler deutlich. Die Korrelation dieser Bild-paare ist erwartungsgemäß mit weniger Proble-men verbunden, wie aus der Backmatching-Statistik der Tabelle 6 hervorgeht. In beiden Fällen liegt die Backmatching-Distanz bzw. der Prozent-satz fragwürdiger Korrelationsergebnisse deut-lich unter jener der Original-Stereodaten.

Die aus den Korrelationsergebnissen errech-neten Oberflächenmodelle sind in Abbildung 17 dargestellt (Ortho-Stereo-Oberflächenmodelle), während Abbildung 18 zwecks visueller Qualitäts-analyse wiederum Stereo-Orthophotos in Anagly-phendarstellung zeigt, welche eben mit diesen Oberflächenmodellen generiert wurden.

Diese Oberflächenmodelle zeigen einerseits relativ zueinander eine gute Übereinstimmung, andererseits besteht jetzt auch eine durchwegs sehr gute Übereinstimmung sowohl für die Eros- als auch für die Ikonos-Stereo-Orthophotos. Dies belegt, dass durch die Vorentzerrung die Problem-zonen für die Korrelation weitgehend eliminiert wurden und die Korrelationsergebnisse zu Ober-flächenmodellen führen, welche den A-priori-Genauigkeitsabschätzungen wesentlich besser entsprechen.

	Eros	Ikonos
Mittelwert	0.77	0.36
Standardabweichung	1.20	0.49
> 3 Pixel	3.21 %	0.53 %

Tab. 6: Backmatching-Statistik für die Korrelation der Stereo-Orthobilder.

**6. Qualitätskontrolle mittels Profilmessungen**

Jährlich werden von der Universität Innsbruck im Bereich des „Hintereisferners“ terrestrisch Quer-profile und Pegel eingemessen. Für eine nume-rische Genauigkeitsbeurteilung der stereome-trisch abgeleiteten Oberflächenmodelle wurde ein solches Profil aus dem Jahr 2002 für Eros bzw. 2003 für Ikonos herangezogen. Zudem wurde von JOANNEUM RESEARCH ein Längsprofil zum Zeitpunkt der Ikonos-Aufnahme mittels RTK-GPS

aufgenommen. Die Lage beider Profillinien ist in Abbildung 19 dargestellt.

In Abbildung 20 und Abbildung 21 sind jeweils die Differenzen zwischen den Höhen des terre-strisch (in situ) gemessenen Querprofils und den Höhen der entsprechenden Punkte aus dem Ortho-Stereo- und dem Stereo-Oberflächenmo-dell der Eros- bzw. Ikonos-Stereodaten darge-stellt.



Abb. 19: Profillinien

Anhand von Abbildung 20 werden abermals die Probleme für die Eros-Daten deutlich. Die Höhendifferenzen des Stereo-Oberflächenmo-dells für das Querprofil liegen im Mittel 0.3 m unter den in situ gemessenen und weisen insgesamt eine stärkere Streuung auf.

Dagegen bestätigten die Werte aus dem Ortho-Stereo-Oberflächenmodell für das Querprofil die Vorteile der Vorentzerrung. Die Werte liegen zwar ebenfalls durchschnittlich 0.3 m tiefer als die terrestrisch gemessenen, zeigen aber keine groben Ausreißer.

Für beide aus den Ikonos-Daten hergeleiteten Oberflächenmodelle ergeben sich im Vergleich zu den in situ Messungen hingegen nur geringe Abweichungen im Submeterbereich (siehe auch Tabelle 7).

	In situ minus	Mittel [m]	Std.Abw. [m]
Ikonos	Stereo DOM	0,60	0,39
	Ortho-Stereo DOM	0,70	0,32
Eros	Stereo DOM	0,33	0,97
	Ortho-Stereo DOM	0,32	0,70

Tab. 7: Statistik der für das Querprofil resultierenden Höhenfehler der digitalen Oberflächenmodelle (DOM).

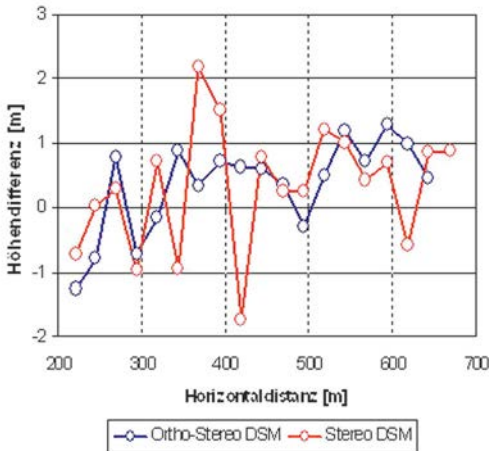


Abb. 20: Höhendifferenz zwischen den *in situ* Messungen im Jahr 2002 und den Eros-Oberflächenmodellen

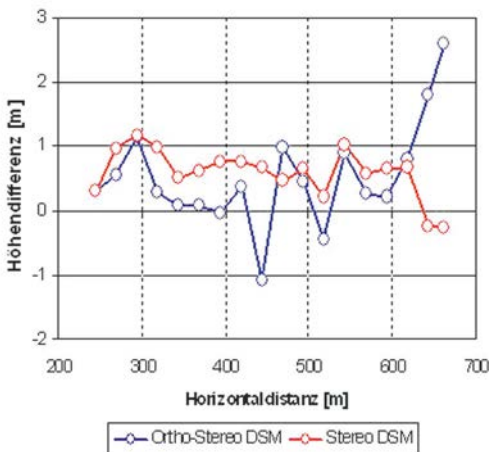


Abb. 21: Höhendifferenz zwischen den *in situ* Messungen im Jahr 2003 und den Ikonos-Oberflächenmodellen

Während die Ikonos-Daten fast zeitgleich mit den terrestrischen Einmessungen aufgenommen wurden, muss bei den Eros Daten noch eine Zeitdifferenz von fast 2 (Sommer-) Monaten mit entsprechenden Abschmelzprozessen am Gletscher berücksichtigt werden.

Insgesamt zeigt ein Vergleich der Statistik der Querprofile (Tabelle 7) mit der Statistik der a-posteriori Aufsetzgenauigkeit (Tabelle 4) eine gute Übereinstimmung bzw. wurde die Aufsetzgenauigkeit meist sogar unterschritten.

Zusätzlich wurden für die aus den Ikonos-Daten hergeleiteten Stereo- bzw. Ortho-Stereo-Oberflächenmodellen die Höhendifferenzen für die mit GPS eingemessenen Punkten des Gletscher-Längsprofils berechnet. Beide Oberflächenmodelle liegen hier im Durchschnitt 1 Meter unter dem gemessenen GPS-Profil (siehe Tabelle 8). Auch hier weist das Stereo-Oberflächenmodell wieder eine größere Standardabweichung auf, was abermals darauf hindeutet, dass sich durch die Vorentzerrung der Daten eine Genauigkeitsverbesserung für das resultierende Ortho-Stereo-Oberflächenmodell erzielen lässt.

Ikonos	Stereo	Ortho-Stereo
Mittel [m]	1,003	1,003
Std.Abw. [m]	0,729	0,670

Tab. 8: Statistik der Höhenfehler im GPS Profil

## 7. Zusammenfassung und Diskussion

Grundsätzlich konnte mit den vorliegenden Ergebnissen die Machbarkeit der automationsgestützten Herleitung von Oberflächenmodellen aus Daten aktueller hochauflösender, optischer Sensoren demonstriert werden.

Üblicherweise lassen sich anhand von Referenzdaten Aussagen über die erreichte Qualität der Bildkorrelation und Sensormodellierung treffen. In unseren Untersuchungen zeigte sich aber, dass die Qualität der Referenzdaten speziell für solches Gelände oft als unzureichend und als sehr kritischer Punkt zu erachten ist.

Nichtsdestotrotz entsprechen die erzielten Genauigkeiten in etwa den sich aus a-priori-Abschätzungen sowie den geometrischen Rahmenbedingungen ergebenden Erwartungen. Eine Verbesserung der Korrelationsergebnisse konnte durch Vorabentzerrung der Stereobildern mit einem vorhandenen Höhenmodell erreicht werden.

Hier wurden nur die Ergebnisse der Vorabentzerrung mit (bis auf die vergletscherten Bereiche) relativ genauer a priori Höheninformation gezeigt. Weitere Untersuchungen wurden auch mit dem freierhältlichen, globalen Geländemodell GTOPO30 (USGS, 2002) durchgeführt, welches eine Auflösung von 30 Bogensekunden hat. Die Ergebnisse entsprechen den hier gezeigten. Als weitere Alternative bietet sich nun auch das freierhältliche, globale Oberflächenmodell der Shuttle Radar Topography Mission mit einer Auflösung von 3 Bogensekunden (Czegka et al., 2004) an.


**Dank**

Die verwendeten Eros- und Ikonos-Bilddaten wurden im Rahmen des OMEGA-Projektes vom Projektpartner *Novosat* (Helsinki, Finnland) zur Verfügung gestellt. Profilmessungen des Hintereisferner-Gletschers wurden von Dr. H. Schneider (Institut für Mathematik, Universität Innsbruck) bereitgestellt.

**Literatur**

- [1] Caballo-Perucha M. (2003): Development and analysis of algorithms for the optimisation of automatic image correlation. Master thesis Post-graduate University Course Space Science, Karl-Franzens-Universität Graz, Dezember 2003
- [2] Czegka W., Behrends K., Braune S. (2004): Die Qualität der SRTM-90m Höhendaten und ihre Verwendbarkeit in GIS. *Homepage* UNIGIS update KONFERENZ 2004: [http://www.unigis.ac.at/club/u2/2004/unterlagen/SRTM\\_update2004.pdf](http://www.unigis.ac.at/club/u2/2004/unterlagen/SRTM_update2004.pdf)
- [3] Dial G., und Grodecki J. (2002): Block adjustment with rational polynomial camera models. Proceeding of ASCM-ASPRS Annual Conventions, Washington D.C., April 2002.
- [4] Franke M. (2003): Generierung digitaler Geländemodelle aus hochauflösenden optischen Satellitenbilddaten. Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz, Abteilung für Photogrammetrie und Fernerkundung, November 2003
- [5] Imagesat International (2005): Satellite overview. *Homepage* published at <http://www.imagesatintl.com>
- [6] JOANNEUM RESEARCH (2005): RSG Software Documentation, Version 3.0, RSG-Release 4.60. <http://dib.joanneum.at/rsg>
- [7] Norvelle F.R. (1996): Using iterative orthophoto refinement to generate and correct digital elevation models (DEM's). *Digital Photogrammetry: An addendum to the Manual of Photogrammetry*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, USA, Seiten 151 - 155.
- [8] Paar G. und Pölzleitner W. (1992): Robust disparity estimation in terrain modelling for spacecraft navigation. Proc. 11<sup>th</sup> ICPR, International Association for Pattern Recognition, 1992
- [9] Perko R. (2001): Korrelationsmethoden für multispektrale Satellitenbilder. Diplomarbeit in technischer Mathematik an der Technischen Universität Graz, Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen, Juni 2001
- [10] Raggam H. und Almer A. (1990): Mathematical Aspects of Multi-Sensor Stereo Mapping. In Proc. of 10<sup>th</sup> Annual IGARSS Symposium: Remote Sensing - Science for the Nineties, Vol. III, Seiten 1963-1966.
- [11] Raggam H., Franke M. und Gutjahr KH. (2004): Surface Model Extraction from High Resolution Stereo Data over Alpine Terrain. 24<sup>th</sup> Earsel Symposium "New Strategies for European Remote Sensing", Dubrovnik, May 25 – 27, 2004.
- [12] Schenk T., Jin-Cheng Li und Toth C.K. (1990): Hierarchical approach to reconstruct surfaces by using iteratively rectified imagery. SPIE (1395) Close Range Photogrammetry Meets Machine Vision, Seiten 464-470.
- [13] Space Imaging (2005): Homepage published at <http://www.spaceimaging.com>
- [14] Sharov A., Raggam H., Gutjahr KH. (2002): Digital terrain models of test glaciers generated from satellite remote sensing data. Report No. 7 of 5<sup>th</sup> EC framework programme "Operational Monitoring of European Glacial Areas", Contr. No. EVK2-CT-2000-0069, Aug. 2002
- [15] U.S. Geological Survey (2002): Eros Data Center: GTOPO30. Homepage: <http://lpdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>

**Anschrift der Autoren**

Dr. Karlheinz Gutjahr, Dr. Hannes Raggam, und Dipl.-Ing. Martina Franke: Institut für Digitale Bildverarbeitung, Joanneum Research Forschungsgesellschaft, Wastiangasse 6, 8010 Graz. [karlheinz.gutjahr@joanneum.at](mailto:karlheinz.gutjahr@joanneum.at) 



## Konzept eines wissensbasierten Kalman-Filters für die Fußgängerortung (WiKaF)



Michael Thienelt, Andreas Eichhorn und Alexander Reiterer, Wien

### Zusammenfassung

Wesentliche Voraussetzung für die Verwendung von orts- und situationenbezogenen Informationen durch Location Based Services ist die genaue, zuverlässige und möglichst überall verfügbare Ortung des mobilen Nutzers. In diesem Umfeld stellt die Positionsbestimmung von Fußgängern in „passiven Umgebungen“ eine besondere Herausforderung dar. In diesem Beitrag erfolgt die Vorstellung eines neuen wissensbasierten Ansatzes zur Steigerung der Qualität der Fußgängerortung.

### Abstract

The precise, reliable and preferably everywhere available positioning of mobile users is a substantial precondition for the provision of location and situation based information by Location Based Services. Within these applications locating of pedestrians in 'passive environments' represents a special challenge. In this paper a new knowledge based approach for the improvement of position quality is presented.

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren gab es einen immensen Aufschwung bei diversen Anwendungen der Navigation. Vor allem die Fahrzeugnavigation hat den Sprung von den Forschungslabors zu den Anwendern vollzogen. Der nächste logische Schritt ist es nun das einzelne Individuum zu „navigieren“<sup>1)</sup>. Vor allem von Seiten der Mobilfunknetzbetreiber ist bereits jetzt eine starke Präsenz am Markt zu bemerken. Dies hängt wohl vor allem mit der Notwendigkeit zusammen die Investitionen in teure UMTS Lizenzen durch die Einführung von neuen, gewinnbringenden Kundendiensten zu rechtfertigen. Es ist eine verstärkte Entwicklung und Investition in sog. Location Based Services (LBS) zu beobachten. Viele dieser Dienste bieten ortsbezogene Informationen für Nutzer mit mobilen Endgeräten („mobile devices“ – z.B. PDA, Handy, s. Abbildung 1) an. Die Dienstleistung erfolgt damit in Abhängigkeit von der aktuellen Position / Situation des Nutzers. Beispiele hierfür sind das „Friendfinding“ oder Abfragen von nächstgelegenen Restaurants / Einkaufsmöglichkeiten.

Im Bereich der Nutzung von LBS für Fußgänger hat vor allem der Umbau der amerikanischen Armee zu einer verstärkten Forschungstätigkeit geführt. Ein wichtiger Schwerpunkt liegt hierbei

auf dem Gebiet der Positionsbestimmung der Fußgänger (Infanteristen). Eine durch mobile Geräte unterstützte Navigation soll dann eine schnellere und weniger fehleranfällige Orientierung in unbekanntem Gelände ermöglichen. Auf dem Gebiet der zivilen Nutzung ist vor allem die Touristikbranche als Anwendung für die Fußgängeravigation anzuführen. Der Individualtourist soll in der Lage sein, auf bequeme Art selbstständig die Stadt zu erkunden. In Abhängigkeit von seiner Position werden ihm hierzu Zusatzinformationen über Sehenswürdigkeiten, Einkaufsmöglichkeiten usw. zur Verfügung gestellt.



Abb. 1: Designstudie aus dem Projekt LOL@ [17]

Generell lassen sich die Methoden zur Positionsbestimmung (Ortung) nach der Art der Umgebung unterteilen: (1) Ortung in einer

<sup>1)</sup> Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang das Projekt NAVIO (Fußgängeravigation in Gebäuden und im städtischen Umfeld) an der Technischen Universität Wien [14].



Abb. 2: Prozesskette des WiKaF-Systems

passiven Umgebung und (2) Ortung in einer aktiven Umgebung. Unter passiver Umgebung versteht man die Nutzung von Sensoren, die im mobile device integriert sind. Die Positionsbestimmung erfolgt somit völlig autonom. Als Sensoren kommen hierbei unter anderem GPS, Ortung über Mobiltelefon, digitaler Kompass oder Pedometer zum Einsatz [14].

Von einer aktiven Umgebung spricht man, wenn sog. active Landmarks vorhanden sind, die Informationen an das mobile device senden. Dieses Prinzip ist bereits erfolgreich in Museen mit Hilfe von Infrarotschnittstellen realisiert [4]. Das Exponat ortet sozusagen den Besucher und übermittelt die Informationen an dessen mobile device. Mit Hilfe von WLAN sind aktive Landmarks auch im städtischen Umfeld realisierbar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird auch darüber nachgedacht die RFID<sup>2)</sup> Technologie in diese Entwicklung mit einzubeziehen. Durch die Notwendigkeit der „Zupflasterung“ des menschlichen Umfeld mit aktiven Landmarks, stellt sich vor allem die Frage nach der Finanzierung. Moralische und humane Bedenken seien hier nur am Rande erwähnt [17].

Entsprechend dem NAVIO-Projekt [6] wurde im Rahmen des WiKaF-Projektes entschieden, den Ansatz der autonomen Positionsbestimmung mit Multisensorsystemen zu verfolgen. Nach einer Idee von Retscher [13] wird hierbei der Ansatz eines wissensbasierten Multisensorsystems verfolgt. Ziel beider Projekte ist es, einen Beitrag zur Steigerung der Positionsgenauigkeit gegenüber marktüblichen Systemen zu leisten und eine möglichst überall verfügbare Positionsinformation (relevant vor allem für den innerstädtischen Bereich) zu gewährleisten. Im Bereich der autonomen Ortungs- und Navigationssysteme stellt die Nutzung für Fußgänger immer noch eine Herausforderung dar. Aufgrund der großen Bewegungsfreiheit der Fußgänger im oftmals nicht digital erfassten Umfeld sind Konzepte anderer Navigationsbereiche, wie z.B. Map Matching bei der Fahrzeugnavigation, häufig

nicht übertragbar. Spezielle Problembereiche der Fußgängerortung und -navigation sind die Bestimmung der zurückgelegten Strecke, die freie Bewegung der Fußgänger im innerstädtischen Umfeld mit z.T. sehr schlechter GPS-Verfügbarkeit und -qualität sowie der Übergang zwischen Outdoor und Indoor (dead reckoning-Szenarios).

## 2. Systemarchitektur

In Abbildung 2 ist die Prozesskette für die Positionsbestimmung von Fußgängern mit wissensbasierter KALMAN-Filterung dargestellt. Die Sensoren einer Multisensorplattform erfassen sowohl absolute als auch relative Positionsdaten des Fußgängers. Diese Messdaten werden in einer wissensbasierten Vorverarbeitung auf ihre Plausibilität hin untersucht, grobe Fehler eliminiert und mit einem der aktuellen Umgebungssituation angepassten stochastischen Modell in ein KALMAN-Filter eingeführt. Das Filter leistet dann die Zusammenführung der hybriden Sensorinformationen (Multisensorintegration) zu einer optimalen Schätzung des aktuellen kinematischen Bewegungszustands des Fußgängers (z.B. Position, Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung).

Im Folgenden werden die einzelnen Bestandteile der Prozesskette mit ihren wesentlichen Funktionalitäten beschrieben.

### 2.1. Sensoren

Für die Arbeit im WiKaF-Projekt steht das im Rahmen des NAVIO Projektes [6] erworbene DeadReckoning-Modul (DRM III) der Firma PointResearch [12] zur Verfügung. Dieses Modul ist ein kommerziell angebotenes Sensormodul für die Fußgängernavigation. Es beinhaltet die Erfassung von Sensordaten sowie deren Verarbeitung. Dieses Modul beinhaltet auch einen KALMAN-Filter mit dessen Hilfe eine Trasse berechnet werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit, soll das DRM III nur zur reinen Datenerfassung genutzt werden. Die Weiterverarbeitung der Sensordaten wird dann mit dem neu entwickelten wissens-

<sup>2)</sup> RFID (Radio Frequency Identification) ist eine Methode um Daten berührungslos lesen und speichern zu können. Die Daten werden dabei auf sog. RFID-Tags (engl. für Etiketten) gespeichert. Der Begriff RFID bezeichnet die komplette Infrastruktur, die es möglich macht, Informationen drahtlos aus dem RFID-Tag auszulesen. Diese beinhaltet neben dem RFID-Tag, eine Send-/Empfangseinheit und eine Integration in ein bestehendes Serversystem [5].

basierten KALMAN-Filter erfolgen. In einem späteren Stadium der Arbeit kann die vom DRM III erzeugte Trasse zu Vergleichszwecken mit herangezogen werden.

Das Modul besteht aus folgenden Einzel-sensoren: 12 Kanal GPS-Empfänger mit Antenne, digitaler Kompass, TRIAX-Beschleunigungsmesser (verwendbar zur Schritterkennung), Barometer und einem Drehratensensor (Gyro). Der eingebaute 12 Kanal GPS-Empfänger basiert auf dem SiRF-Chipsatz. Vom Hersteller wird eine maximale Messgenauigkeit von  $\pm 5\text{m CEP}$  (Circular error probable; Sicherheitswahrscheinlichkeit von 50%)[11, 12] angegeben. Diese Angabe gilt für den GPS-Empfänger in Kombination mit der mitgelieferten Antenne. Die GPS-Antenne kann mit Hilfe einer Mütze am Kopf des Fußgängers befestigt werden. Das GPS ist der einzige absolute Sensor des Moduls und somit die einzige

Möglichkeit eine absolute Positionsbestimmung vorzunehmen.

Die anderen Sensoren des Moduls sind relative Sensoren die hauptsächlich für die Durchführung der Koppelnavigation benötigt werden. Das Azimut der Bewegung des Fußgängers wird aus einer Kombination von digitalen Kompass und RateGyro bestimmt. Die im Modul integrierten Beschleunigungssensoren werden zur Schritterkennung verwendet. Aus der Anzahl der Schritte und der Schrittlänge kann die zurückgelegte Strecke berechnet werden. Für die Schritterkennung ist es sehr wichtig, dass das Modul mittig (des Rückens) am Gürtel des Benutzers befestigt wird. Die richtige Befestigung des Moduls hat eine signifikante Auswirkung auf die Güte der Schritterkennung. Abbildung 4 zeigt den Teil eines Ausgabefiles der durch die Einzel-sensoren erfassten Daten.

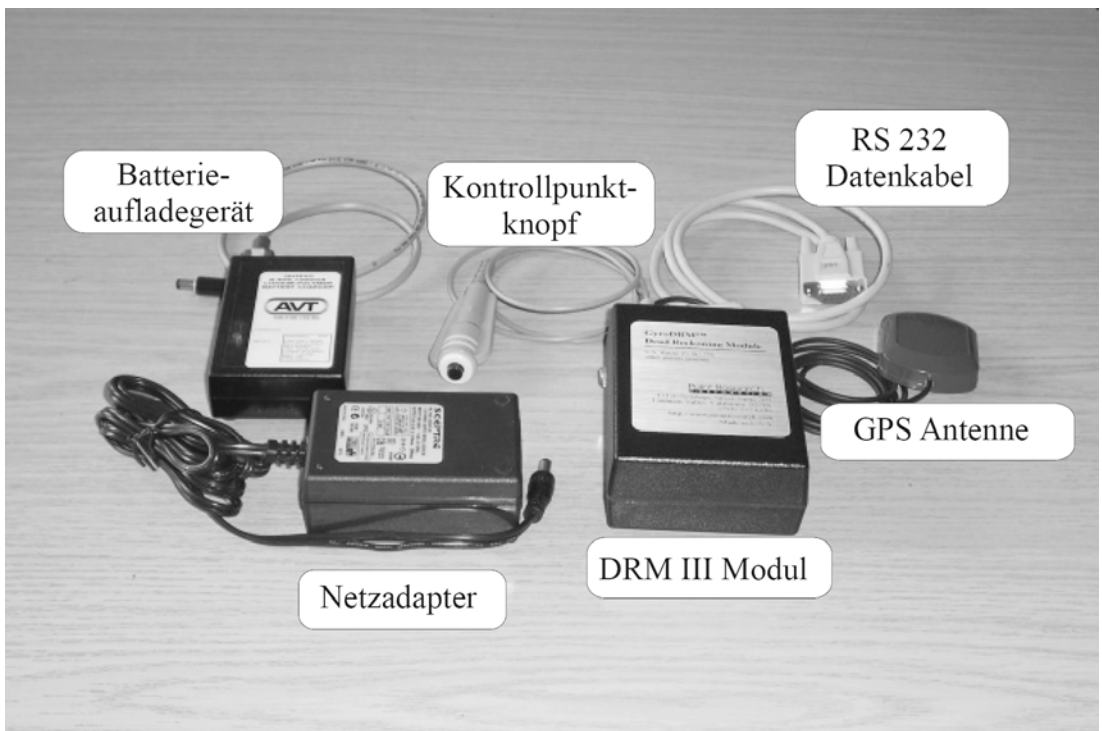


Abb. 3: Systemkomponenten des DRM III

Time	Steps	East	North	Head	DRAlt	INIat	INLong	INFPE	Bofst	Stride	GPSStat	GPSLat	GPSLong	GPSEast	GPSNorth	GPSAlt	GPSEPE	NewFix	Mark
13:28:54	14	1.8	1.7	131.7	260	0.00000	0.00000	100	0.0	800	-1	48.18697	16.31562	0.0	0.0	61	-1	0	0
13:28:54	14	1.8	1.7	131.7	260	0.00000	0.00000	100	0.0	800	-1	48.18697	16.31562	0.0	0.0	61	-1	0	0
13:28:55	14	1.8	1.7	131.2	260	0.00000	0.00000	100	0.0	800	-1	48.18697	16.31562	0.0	0.0	61	-1	0	0
13:28:55	14	1.8	1.7	131.2	260	0.00000	0.00000	100	0.0	800	-1	48.18697	16.31562	0.0	0.0	61	-1	0	0
13:28:56	14	1.8	1.7	131.0	260	0.00000	0.00000	100	0.0	800	-1	48.18697	16.31562	0.0	0.0	61	-1	0	0

Abb. 4: Messdatensatz des DRM III

## 2.2. Wissensbasierte Filterung

Nach erfolgreicher Messwerterfassung bzw. Teilerfassung durch das Multisensorsystem werden die Messwerte einer ersten Filterung unterzogen. Diese hat die Aufgabe Störungen und Ausreißer, welche nicht in die KALMAN-Filterung einfließen sollen, zu beseitigen und der aktuellen Umgebungssituation angepasste Fehlermodelle für die Messdaten bereitzustellen.

Da für den erfolgreichen Einsatz dieser Messwertfilterung umfangreiches „Knowledge Engineering“ durchgeführt werden muss, welches als rekursiver Entwicklungsprozess gesehen werden sollte (s. Abbildung 8), wird eine möglichst vollständige Entkoppelung dieser Systemkomponente angestrebt. Auf Grundlage dieser Anforderung wird die Messwertfilterung als wissensbasierte Komponente realisiert. Durch diesen Ansatz erfolgt eine klare Trennung von Problemwissen und Wissensverarbeitung; eine Erweiterung, Modifikation oder ein Austausch der Wissensbasis kann wesentlich leichter erfolgen.

Zu den Komponenten eines wissensbasierten Systems zählen: die Wissensbasis, die Inferenzkomponente, die Benutzerschnittstelle, die Erklärungskomponente und die Wissenserwerbskomponente. Wissensbasis, Inferenzkomponente und Benutzerschnittstelle bilden die Kernkomponenten eines wissensbasierten Systems. Die Wissensbasis enthält das Problemwissen in deklarativer Form. Dieses Wissen wird durch die Inferenzkomponente verarbeitet, wobei neues Wissen in Form von Fakten abgeleitet wird. Um mit dem Benutzer in einen interaktiven Kommunikationsprozess zu treten, bedarf es einer Benutzerschnittstelle, welche zumindest in einer minimalen Form vorhanden sein muss. Zusätzlich kann jedes wissensbasierte System über eine Wissenserwerbskomponente, welche die Akquisition neuen Wissens erleichtern soll, und über eine Erklärungskomponente, welche dem Benutzer Auskunft über die konkrete Lösungsfindung geben soll, verfügen.

Für eine umfangreiche Beschreibung wissensbasierter Systeme sei auf die Literatur verwiesen [8, 16].

Für die praktische Implementierung wissensbasierter Systeme existieren, wie auch in der konventionellen Programmierung, verschiedene Ansätze (prozedurale Methoden, objektorientierte Methoden, logikbasierte Methoden, u.a.); im praktischen Einsatz werden meist Mischformen verwendet. Für die Umsetzung des wissens-

basierten Messwertfilters wird ein regelbasierter/objektorientierter Ansatz realisiert.

Ein regelbasiertes System besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen: dem sog. Arbeitsspeicher (working memory – WM) und der Regelbasis (rule memory).

Der Arbeitsspeicher ist eine Sammlung von einzelnen Typen sowie deren Instanzen. Vergleichbare Formen sind record in Pascal oder struct in C. Die eigentlichen Elemente des Arbeitsspeichers (working memory elements) sind dann konkrete Instanzierungen.

Der zweite Teil eines regelbasierten Systems ist die Regelbasis. Eine Regel ist grundsätzlich in zwei Teile unterteilt, nämlich in den Bedingungsteil (left hand side – LHS) und den Aktionsteil (right hand side – RHS). Im Bedingungsteil stehen die sog. Vorbedingungen, welche für das Ausführen der Regel erfüllt sein müssen. Erst wenn alle Vorbedingungen erfüllt sind, wird der Aktionsteil der Regel ausführbar. Regeln können als sog. IF-THEN-Statements gesehen werden; z.B.:

IF (Bedingung 1 AND Bedingung 2) THEN (Aktion).

Die Kodierung der Regel(n) erfolgt in der gewählten Programmiersprache (für wissensbasierte Systeme sind dies meist Sprachen, welche auf Lisp basieren); der hier vorgestellten wissensbasierten Messwertfilter wird mit Hilfe von Clips bzw. WxClips [2, 20] implementiert.

Wie bereits oben kurz angedeutet erfolgt die Abarbeitung der Regeln durch die Inferenzkomponente. Bei regelbasierten Systemen, wie dem unseren, erfolgt dieser Prozess vorwärtsverkettet nach dem sog. „Erkenne-Agiere-Zyklus“ (Recognize-Act-Cycle). Dieser besteht aus drei Teilschritten: der Musterung, bei der sämtliche Regeln auf Ausführbarkeit untersucht werden, der Regelauswahl, bei der eine konkrete Regel aus der Vorauswahl selektiert wird und der Aktion, bei der die selektierte Regel bzw. ihr Aktionsteil ausgeführt wird. Dieser Kreislauf wird solange durchlaufen bis keine Regel mehr ausführbar ist oder eine explizite „halt-Anweisung“ erfolgt.

## 2.3. Zentrales KALMAN-FILTER zur optimalen Positionsbestimmung

Die durch das wissensbasierte System vorverarbeiteten Messdaten des DRM sollen im Rahmen einer Multisensorintegration zu einer genauen, zuverlässigen und möglichst überall verfügbaren Positionsinformation des Fußgängers zusammen-

geführt werden. Aus diesem Grund wird zur Sensorfusion ein (datenbasiertes) Ortungsmodul mit zentralem KALMAN-Filter entwickelt. Die KALMAN-Filterung ermöglicht die optimale Schätzung des Bewegungszustands des Fußgängers unter Ausnutzung von theoretischen Annahmen über dessen Bewegungsverhalten (Systemgleichungen) und Hinzunahme von empirischen Messungen (Messgleichungen). Ihre theoretischen Grundlagen werden u.a. in [7] und [15] beschrieben.

In die Systemgleichungen des Filters wird ein kinematisches 3D-Bewegungsmodell integriert, welches die Prädiktion des Bewegungszustands (z.B. Position, Geschwindigkeit und Orientierung des Fußgängers) von einer Epoche  $t_k$  zur nächsten Epoche  $t_{k+1}$  ermöglicht. Die Überprüfung und Aufdatierung der Prädiktion erfolgt dann unter Ausnutzung der jeweils aktuellen DRM-Messungen und der zugehörigen Fehlermodelle (s.a. Abbildung 5). Nichtdeterminierbares Bewegungsverhalten des Fußgängers (z.B. zufällige Beschleunigungsprozesse) wird durch die Hinzunahme von entsprechenden Störgrößen im stochastischen Modell des Filters berücksichtigt.

Die Bewegung zwischen zwei Filterepochen wird als gleichförmig angenommen. Ein möglicher Ansatz hierfür ist durch eine Folge von Kreisbewegungen für die Lagekoordinaten gegeben [19] (s. Abbildung 5). Ein integrierter 3D-Ansatz (Helix-Modell) findet bspw. in [1] Verwendung. Eine Reduktion der Trägheit der kinematischen Modelle bei plötzlichen Orientierungsänderungen des Fußgängers kann durch die zusätzliche Integration von messtechnisch erfassten Stellgrößen erfolgen. Diese sog. „kausale Modifizierung“ wird in [3] erfolgreich zur Filterung von Fahrzeugmanövern eingesetzt.

In Abbildung 6 ist ein Entwurf der funktionalen Architektur des Ortungsmoduls dargestellt. Es besteht prinzipiell aus vier Submodulen, welche die Umgebungssituation („Outdoor“, „Indoor“), den Bewegungszustand des Fußgängers („Fußgänger steht“) und Notfallsituationen („Filterausfall“) berücksichtigen.

Von besonderer Relevanz im Outdoor-Bereich ist die Detektion von schlechter GPS-Qualität (Sprünge infolge von Multipath-Effekten, etc.). Unter Zuhilfenahme der Ergebnisse der wissensbasierten Voranalyse erfolgt im Ortungsmodul eine zusätzliche statistische Bewertung der Widersprüche zwischen Bewegungsmodell und GPS-Messungen (z.B. Innovationstests) und eine adäquate Gewichtung von GPS im stochasti-

schon Modell des KALMAN-Filters. Im Indoor-Bereich liegt ein „dead reckoning“-Szenario vor, welches wesentlich durch den richtungsgebenden Sensor des DRM (elektronischer Kompass) bestimmt wird. Entsprechend der GPS-Behandlung werden die Azimut-Messungen auf grobe Fehler hinsichtlich der Bewegungsrichtung untersucht und entsprechend gewichtet.

Bei der Besetzung der stochastischen Modelle für Stör- und Messgrößen des KALMAN-Filters wird bei geodätischen Anwendungen üblicherweise von zeitlich unkorrelierten Rauschprozessen ausgegangen [9]. Gerade bei aufeinanderfolgenden GPS-Messungen treten aber häufig sehr hohe Autokorrelationen auf (sog. „farbiges Rauschen“), die prinzipiell durch eine Erweiterung des KALMAN-Filters zu einem „Formfilter“ [10] berücksichtigt werden können. Zentrales Problem hierbei ist die Bestimmung der korrekten Parameter der farbigen Rauschprozesse [9, 10]. Im Rahmen des WiKaF-Projekts wird untersucht werden, ob und inwieweit mit der Quantifizierung eines Formfilters eine Steigerung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit in der Positionsbestimmung erzielt werden kann. Hierzu sind zunächst zwei Strategien angedacht:

1. A priori Untersuchung von Zeitreihen der Messsensoren und Ermittlung der Kenngrößen der farbigen Rauschprozesse
2. Schätzung der Parameter der Rauschprozesse im Rahmen einer adaptiven Erweiterung des KALMAN-Filters

### 3. Weiterer Projektablauf

Nachdem die theoretischen Grundlagen und die Systemarchitektur grob umrissen wurden, soll kurz auf die prototypische Realisierung eingegangen werden. In der noch sehr frühen Projektphase umfasst diese vor allem die Festlegung der Testgebiete und die detaillierte Planung der einzelnen Entwicklungsschritte.

#### 3.1. Testgebiete

Für Aufbau und Implementierung des wissensbasierten KALMAN-Filters ist die Festlegung von (in Hinblick auf dessen spätere Anwendungsbereiche) repräsentativen Testgebieten erforderlich. Es werden drei unterschiedliche Szenarien ausgewählt: zwei Outdoor und ein Indoor Szenarien.

Die zwei Outdoor Testgebiete unterscheiden sich nach ihrem GPS-Empfang. Testgebiet 1 (TG-1) wird voraussichtlich im Schlosspark

Schönbrunn (Wien) errichtet. Die Realisierung ist für Frühjahr 2005 geplant.

Bereits umgesetzt ist die Einrichtung eines Testgebietes (TG-2) im städtischen Umfeld mit Abschnitten in denen der GPS Empfang sehr schlecht oder gar nicht vorhanden ist. Dieses Gebiet befindet sich zwischen Resselpark und dem Elektrotechnischen Institutsgebäude der Technischen Universität Wien und spannt ein Dreieck (140m x 200m x 250m) auf. Durch Polygonzugmessung, trigonometrischer Höhenübertragung und Nivellement wurde eine Solltrasse realisiert.

Ebenfalls bereits realisiert ist eine Solltrasse für den Indoorbereich (TG-3, s. Abbildung 7). Diese wurde wiederum durch Polygonzugmessung und trigonometrischer Höhenübertragung im Elektrotechnischen Institutsgebäude der Technischen Universität Wien festgelegt. Die Trasse hat Anschluss an die Solltrasse des zweiten Testgebietes und führt ausgehend vom Eingangsbereich in die dritte Etage. Auf halber Strecke wurde ein „Abstecher“ in einen, vom Flur begehbaren Raum realisiert. Die Trasse führt dann weiter über ein zweites Treppenhaus hinab zum Haupteingang und schließt wieder an die Solltrasse des zweiten Testgebietes (TG-2) an.

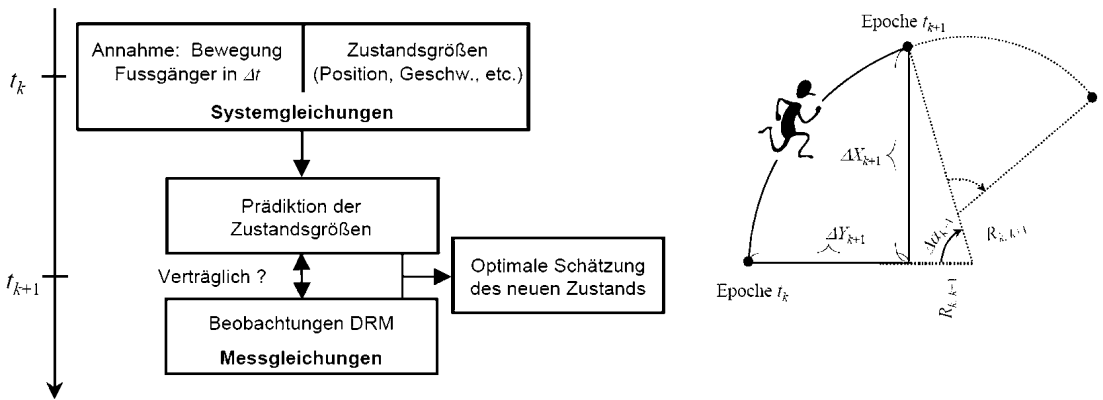


Abb. 5: Kalman-Filter und gleichförmige Kreisbewegung des Fußgängers (exemplarisch für Lagekoordinaten)

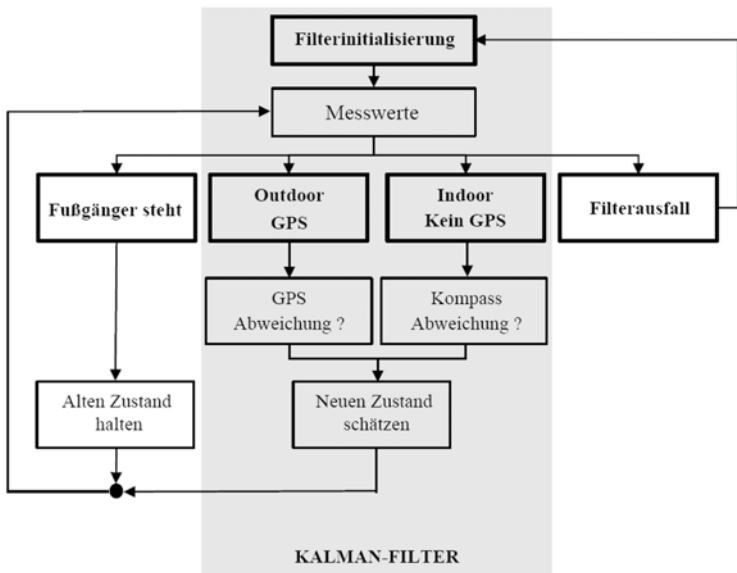


Abb. 6: Systemarchitektur des (datenbasierten) Ortungsmoduls

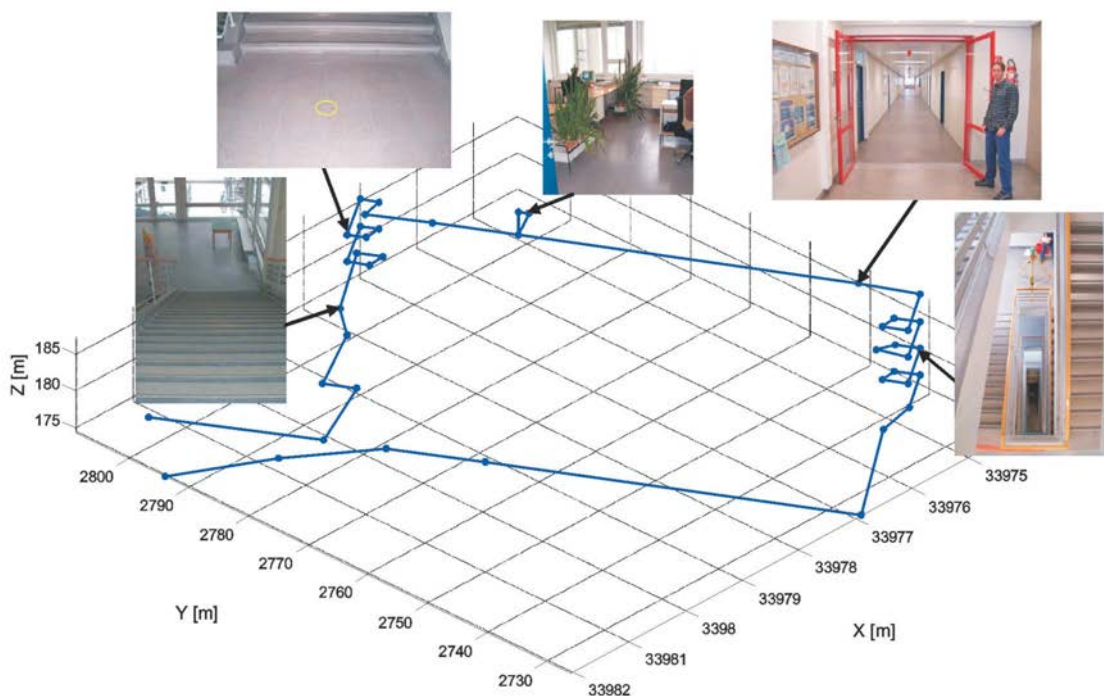


Abb. 7: Verlauf der Indoor-Trajektorie (TG-3)

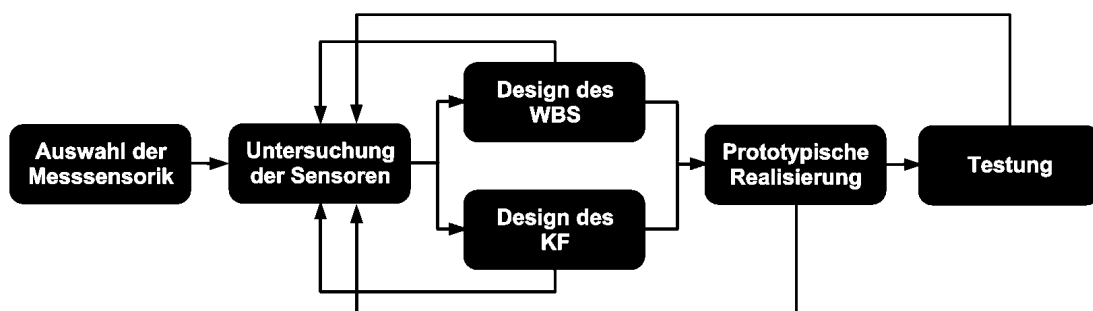


Abb. 8: Übersicht über den Projektplan von WiKaF

### 3.2. Projektplan

Am Schluss der konzeptuellen Beschreibung soll auf den weiteren Ablauf bzw. die weiteren Projektschritte kurz eingegangen werden. Ein grober Überblick über die wichtigsten Projektphasen ist in Abbildung 8 dargestellt.

Wie bereits kurz angedeutet, ist die Auswahl der Messsensorik weitgehend abgeschlossen<sup>3)</sup> und es wird in Kürze (April 2005) mit der Untersuchung der Sensoren und der Ableitung der zugehörigen Sensor- und Störmodelle begonnen. Dieser Prozess repräsentiert einen der wichtigsten Schritte innerhalb des WiKaF-Projek-

<sup>3)</sup> Diese Arbeit wurde teilweise innerhalb des NAVIO Projektes durchgeführt.

tes, da er als Hauptteil des „Knowledge Engineering“ gesehen werden muss. Das dadurch akquirierte Wissen fließt direkt in die beiden nachfolgenden Entwicklungsschritte ein.

Das Design des wissensbasierten Systems und des KALMAN-Filters soll zeitgleich und zunächst weitgehend unabhängig von einander erfolgen. Die parallele Entwicklung von wissensbasiertem System und KALMAN-Filter mündet dann in zwei in ihrer Funktionalität autonome Systemkomponenten. Dies erlaubt eine spätere Untersuchung des modularen Gesamtsystems auch ohne den Einsatz der wissensbasierten Komponente und ermöglicht somit eine Einschätzung des tatsächlichen Vorteils eines wissensbasierten KALMAN-Filters. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, kann während der Designphase durchaus eine Rückkoppelung mit der Sensoruntersuchung notwendig sein

Nach Abschluss dieser Entwicklungsschritte kann mit der prototypischen Realisierung begonnen werden. Wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt wurde, erfolgt die Implementierung der wissensbasierten Systemkomponente mit Hilfe von Clips bzw. WxClips. Die KALMAN-Filterung wird in Matlab realisiert. Der Datenaustausch (Schnittstellen) erfolgt durch fest definierte ASCII Files.

Nähere Details über die Sensoruntersuchung und die prototypische Realisierung wird im Laufe des Jahres Gegenstand einer separaten Publikation sein.

#### 4. Schlussbemerkungen und Ausblick

Das im Rahmen dieses Beitrags vorgestellte Konzept zur wissensbasierten KALMAN-Filterung stellt eine Erweiterung der Multisensorintegration in der Hinsicht dar, dass die datenbasierte Systemanalyse und -modellierung durch eine wissensbasierte Komponente ergänzt und somit bisher nicht unmittelbar quantifizierbare (z.T. qualitative) Informationen durch die Formulierung und Anwendung von Regeln implementiert werden können. Hierdurch wird eine Unterstützung des Filters beim Auffinden und der Elimination von grob fehlerhaften Sensordaten und bei der Anwendung der stochastischen Modelle von Mess- und Störgrößen angestrebt.

Die im nächsten Projektabschnitt folgende Untersuchung der Einzelsensoren des DRM III wird u.a. anhand von Referenztrajektorien innerhalb der in Kapitel 3.1 vorgestellten Testgebiete erfolgen. Neben der reinen Zeitreihenanalyse der Residuen der Sensordaten ist die Bewertung des

Einflusses der Topographie und die Detektierung von potenziellen Störquellen eine wichtige Aufgabenstellung dieses Abschnitts und bildet die Grundlage für das Design der wissensbasierten Komponente. Zur Sensoruntersuchung gehört auch die Ermittlung von Kalibrierungsparametern (z.B. Schrittlänge bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Fußgängers) zur Verknüpfung der Sensorsignale mit geometrisch relevanten Größen.

Aus dem aufgezeichneten Bewegungsverhalten des Fußgängers sollen weiters möglichst realitätsnahe Bewegungsmodelle für die Systemgleichungen des KALMAN-Filters generiert und geeignete Abstraten festgelegt werden.

#### Dank

Die in dieser Arbeit präsentierte Forschung wird zum Teil vom FWF Projekt NAVIO des Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Österreich, Projektnr. P16277-N04, unterstützt.

Die Autoren möchten sich bei Herrn Ass.-Prof. Dr.-Ing. G. Retscher vom Insitut für Geodäsie und Geophysik der TU-Wien für die Idee eines wissensbasierten Multisensorsystems bedanken.

#### Literatur

- [1] Aussems, T.: Positionsschätzung von Landfahrzeugen mittels Kalman-Filterung aus Satelliten- und Koppelnavigationsbeobachtungen. Veröffentlichungen des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Nr. 55, Aachen, 1999.
- [2] CLIPS-Webseite: <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>, letzter Zugriff: 03.2004.
- [3] Eichhorn, A.: Ein Beitrag zur Identifikation von dynamischen Strukturmodellen mit Methoden der adaptiven Kalman-Filterung. Dissertation, Universität Stuttgart, IAGB, im Druck, 2005.
- [4] EYELED-Webseite: <http://www.eyeled.de>, letzter Zugriff: 11.2004.
- [5] Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktlose Chipkarten. 2. Aufl., München, 2000.
- [6] Gartner, G./ Frank, A. / Retscher, G.: Pedestrian Navigation System in Mixed Indoor/Outdoor Environment – The NAVIO Project, in: Schrenk M. (Hrsg.): Proceedings of the CORP 2004 and Geomultimedia04 Symposium, February 24-27, 2004, Vienna, Austria, 165-171.
- [7] Gelb, A. / Kasper, J.F./ Nash, R.A./ Price, C.F./ Sutherland, A.A.: Applied Optimal Estimation. The M.I.T. Press, Cambridge London, 1974.
- [8] Gottlob, G./ Frürwirth, T./ Horn, W.: Expertensysteme. 1. Aufl., Springer Verlag, Wien/New York, 1990.
- [9] Heunecke, O.: Zur Identifikation und Verifikation von Deformationsprozessen mittels adaptiver KALMAN-Filterung (Hannoversches Filter). Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 208, Hannover, 1995.



- [10] Huep, W.: Zur Positionsschätzung im gestörten KALMAN-Filter am Beispiel eines manövrierenden Wasserfahrzeuges. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 143, Hannover, 1986.
- [11] Macheiner, K.: Performance Analysis of a Commercial Multi-Sensor Pedestrian Navigation System. Diplomarbeit, Graz, 2004.
- [12] PointResearch: DRM-III Dead Reckoning Module – Engineering Development Tools, Point Research Corporation, USA, [www.pointresearch.com/drm\\_eval.htm](http://www.pointresearch.com/drm_eval.htm), letzter Zugriff: 07.2004.
- [13] Retscher, G.: Persönliche Kommunikation. Institut für Geodäsie und Geophysik an der TU Wien, 2004
- [14] Retscher, G. / Thienelt, M.: NAVIO - A Navigation and Guidance Service for Pedestrians. Angenommen für die Veröffentlichung in: Journal of Global Positioning Systems, 2004
- [15] Schrick, K. W.: Anwendungen der Kalman-Filter-Technik. Oldenbourg Verlag, München, 1977.
- [16] Stefik, M.: Introduction to Knowledge Systems. 2. Aufl., Morgan Kaufmann Verlag, San Francisco, 1998.
- [17] Weis, S.A. / Sarma, S.E. / Rivest, R.L. / Engels, D.W.: Security and Privacy Aspects of Low-Cost Radio Frequency Identification Systems. In: Security in Pervasive Computing - Lecture Notes in Computer Science, Band 2802, 2004, 201–212.
- [18] Uhlirz, S. / Lechthaler, M.: LoL@ - City Guide. Prototyp einer kartenbasierten UMTS-Applikation. In: Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation TU Wien, Heft Nr. 58, 2002, 171-182.
- [19] Wang, J. G.: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Schriftenreihe des Studiengangs Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr, Heft 52, Neubiberg, 1997.
- [20] WxClips-Webseite: [www.anthemion.co.uk/wxclips](http://www.anthemion.co.uk/wxclips), letzter Zugriff: 03.2004.

#### **Anschrift der Autoren**

**Michael Thienelt, Andreas Eichhorn, Alexander Reiterer:** Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, 1040 Wien. 

## Dissertationen, Diplom- und Masterarbeiten

### Breakline Modelling from Airborne Laser Scanner Data (Bruchkanten Modellierung aus flugzeuggetragenen Laserscanner Daten)

*Christian Briese*

**Dissertation:** Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2004

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

**2. Begutachter:** Dr. habil. Hans-Gerd Maas, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Dresden

Das flugzeuggetragene Laserscanning (Airborne Laser Scanning, ALS) ermöglicht eine äußerst dichte großflächige Abtastung der Landschaftsoberfläche aufgrund des hohen Automatisierungsgrades. Auf Basis der aufgenommenen Punktwolke werden in der Folge Rastermodelle, Gittermodelle oder Triangulationen erstellt, die Bruchkanteninformation nur implizit beinhalten. Zur Ableitung hochqualitativer Oberflächenmodelle ist es hingegen notwendig diese Bruchkanteninformation explizit in die Modellierung zu berücksichtigen und anschließend in die Datenstruktur des resultierenden Oberflächenmodells zu integrieren. Daher ist eine explizite Modellierung der Bruchkanten auf Basis einer 3D Vektor Repräsentation notwendig.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Entwicklung von Methoden zur Ableitung von Bruchkanten aus Laser-Scanner-Daten. Am Anfang dieser Überlegungen steht eine Methode, die die Beschreibung von Bruchkanten auf Basis von umgebenden Punkten unabhängig von der Datenerfassungsmethode ermöglicht. Schrittweise wird dieses Basiskonzept verfeinert, um schlussendlich die Beschreibung der Bruchkanten auf Basis von unklassifizierten zufällig verteilten ALS-Punkten durchzuführen. Die aus dieser Erweiterung resultierende Methode beschreibt Bruchkanten als Schnittlinie von robust bestimmten analytischen Flächenpaaren, die auf Basis der Punkte in der Nähe der Bruchkante bestimmt werden. Durch die automatische robuste Elimination der Nicht-Bodenpunkte im Zuge der Flächenbestimmung wird eine Modellierung der Bruchkanten in bewaldeten Gebieten ermöglicht. Dieser Algorithmus benötigt zur Bestimmung der 3D Kante eine 2D Näherung der gesamten Bruchkante. Daher werden im Folgenden Strategien bzw. Lösungen angeführt, die eine stärkere Automatisierung der Bruchkantenbestimmung ermöglichen und so die Praxistauglichkeit erheblich erhöhen. Neben dem semi-automatischen Wachsen der Kanten, werden auch einige Ansätze zur Vollautomatisierung vorgestellt.

Ein Abschnitt mit praktischen Beispielen demonstriert die Anwendbarkeit der entwickelten Methoden und geht neben der reinen Modellierung auch auf die Integration der Kanten in die Oberflächenmodellierung und auf die anschließende Datenreduktion ein. Um die vielseitigen Anwendungen der Methode zu präsentieren,

folgen Beispiele aus der automatischen Bildzuordnung der Marsoberfläche (image matching) und aus dem Bereich des terrestrischen Laserscannings (TLS). Zusätzlich zu den topographischen Anwendungen wird ein kleines Beispiel der Gebäudekantenmodellierung auf Basis von TLS-Daten vorgestellt.

Neben dem Schwerpunkt der Bruchkantenmodellierung widmet sich ein Teil der Arbeit dem aktuellen Stand der Forschung im Bereich ALS, Oberflächenmodellierung und Bruchkantenmodellierung, während sich ein weiterer Abschnitt mit der ALS-Datenaufnahme genauer auseinandersetzt. Neben einer genaueren Betrachtung der Methoden zur Entfernungsbestimmung wird das Abtastverhalten der ALS-Sensoren unter der Berücksichtigung der Größe des Abtastflecks untersucht. Abschließend werden, neben einem Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten, die Methoden und Ergebnisse zusammengefasst.

### Rasterbasierte Geländeoberflächenanalysen

*Dubravko Gajski*

**Dissertation:** Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2005

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

**2. Begutachter:** Prof. dr. sc. Teodor Fiedler, University of Zagreb

Diese Arbeit befasst sich mit der rasterbasierten Geländeoberflächenanalyse von digitalen Geländemodellen, insbesondere von Geländemodellen, die vom flugzeuggetragenen Laserscanning stammen. Das flugzeuggetragene Laserscanning ist inzwischen das herausragende Verfahren zur Datenerfassung für sehr genaue Geländemodelle, vor allem in bewaldeten und bebauten Gebieten. Es gibt aber auch einige Schwächen des flugzeuggetragenen Laserscannings, die von der Geomorphologie des Geländes abhängen. Kritische Bereiche sind vor allem Täler mit dichter (und niedriger) Strauchvegetation, weil einerseits in solchen Bereichen die Datenerfassung stark beeinträchtigt ist und andererseits für die Elimination (Filterung) der Laserpunkte auch beziehungsweise in der Vegetation keine guten Voraussetzungen gegeben sind. Das Erkennen dieser Unzulänglichkeiten und das Erarbeiten von Methoden zu ihrer Behebung war die Hauptmotivation für diese Arbeit.

Die eingeschlagene Konzeption geht davon aus, dass die Form der Geländeoberfläche durch geomorphologische Prozesse dynamisch gestaltet wird. Vor diesem Hintergrund können unerwartete geomorphologische Geländeformen definiert und mit Methoden der Geländeoberflächenanalyse in digitalen Geländemodellen detektiert werden. Anschließend können die unerwarteten geomorphologischen Geländeformen in digitalem Geländemodell überarbeitet und in realistischere Oberflächenformen überführt werden.

Für die Oberflächenanalyse haben rasterbasierte Methoden große Vorteile; sie sind sehr effizient und erlauben attraktive Visualisierungen; sie können auf das große Methodenangebot der digitalen Bildverarbeitung zurückgreifen. In dieser Arbeit wird auf rasterbasierte Oberflächenanalysen eingegangen, die auf morphometrischen und hydrologischen Gesetzen beruhen.

Die hydrologisch basierte Oberflächenanalyse wird in Gebieten angewandt, die durch überwiegend fluviale Prozesse entstanden sind. Das unzulängliche Geländemodell wird (künstlich) beregnet und der Wasserabfluss wird modelliert. Das Ergebnis sind vor allem

Flussläufe, die als Strukturlinien in einem erneuten Modellierungsprozess einbezogen werden, und

abflusslose Räume (Mulden), die durch Absenken der sogenannten Muldenpfade beseitigt und hydrologisch plausibel gestaltet werden.

Mit terrestrisch eingemessenen Kontrollpunkten konnte auch eine beachtliche Steigerung der absoluten Höhengenaugigkeit festgestellt werden.

Zusätzlich zum Testgebiet "Wienerwald", ein typisch fluvial gestaltetes Gelände, wurden die Methoden auch auf der Marsoberfläche im Gebiet des Vallis Marineris, dem größten Grabensystem am Mars, angewandt. Die Marsdaten stammen von der NASA-Mission MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter). Die hydrologischen und morphometrischen Analyseergebnisse geben detailliert Aufschluss über die Oberflächentopographie des Planeten Mars. Ihre Visualisierungen sind besonders attraktiv. Die erzielten Ergebnisse stehen nun für wissenschaftliche Untersuchungen der geologischen und klimatischen Geschichte des Planeten Mars zur Verfügung.

Die Implementierung der erarbeiteten Methoden wurde im Geländemodell-Programmpaket SCOP++ vorgenommen. Dieses Programmpaket besitzt einen universellen Applikationsrahmen, mit dem die SCOP-Basissoftware verhältnismäßig leicht um ergänzende und neue Algorithmen erweitert werden kann.

## **Demarcating Coal Fire Risk Areas Based on Spectral Test Sequences and Partial Unmixing Using Multi Sensor Remote Sensing Data (Ausweisung von Kohlefeuer-Risikogebieten mittels spektraler Test-Sequenzen und partieller Entmischung für multi-Sensor Fernerkundungsdaten)**

*Claudia Künzer*

Dissertation: Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2005

1. Begutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Wagner

2. Begutachter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Dipl.-Forstwirt Mathias Schardt, Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz

Unkontrollierte Kohleflözbrände sind eine Naturkatastrophe und ein wirtschaftliche Problem globalen Ausmaßes. Die Brände existieren weltweit in über 15 Kohle fördernden Ländern und führen nicht nur zur Vernichtung der wertvollen wirtschaftlichen Ressource, sondern auch zu treibhausrelevanten Emissionen. Es wird angenommen, dass Kohlebrandemissionen einem Equivalent von 0,1 % bis 0,2 % der jährlichen anthropogen verursachten CO<sub>2</sub> Emission entsprechen. Des Weiteren setzen sie toxische Gase frei, die sich schädlich auf die Gesundheit der Einwohner in den Kohlebrandregionen auswirken. Durch den Volumenschwund im Untergrund führen die Brände zudem zu langsamer Landabsenkung sowie Oberflächeneinbrüchen. Des Weiteren kommt es durch die aus Spalten emittierenden toxischen Gase zu Degradation und Absterben der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung.

In China existieren Kohlebrände in über 50 Kohlefeldern, die sich über den nördlichen Kohleabbaugürtel erstrecken. Dieser Gürtel dehnt sich 5000 km von Osten nach Westen über den gesamten nördlichen Teil des Landes aus. Der wirtschaftliche Verlust durch Kohlebrände wird in China auf 20 bis 30 Mio. Tonnen pro Jahr beziffert. Dies entspricht in etwa der deutschen Jahresproduktion an Steinkohle. Viele der Kohleabbaueregionen befinden sich in entlegenen, nur dünn besiedelten Gebieten. Daher stellt die Fernerkundung ein kostengünstiges und robustes Werkzeug dar, um die Brandregionen auf lokalem, regionalem und landesweitem Maßstab zu untersuchen.

Die Arbeit stellt einen konzeptuellen Ansatz und zwei Algorithmen zur automatisierten Ausweisung von Kohlebrandgebieten und zukünftigen Risikogebieten basierend auf Landsat-7 ETM+ und Aster Satellitendaten vor. Der Fokus liegt hierbei auf der Analyse multispektraler Satellitendaten zur Abgrenzung von Gegenden, in denen Kohlebrände mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten. Solche ausgewiesenen Bereiche unterstützen die Differenzierung Kohlebrand-bedingter und anderer Thermalanomalien. Zugleich kann die Ausweisung von Kohlebrand-Risikogebieten die Überwachung von Regionen unterstützen, die ein hohes Gefährdungspotential für die Entstehung der Brände- aber noch keine thermalen Anomalien aufweisen.

Während drei Feldarbeitskampagnen in 2002, 2003 und 2004 konnte beobachtet werden, dass Thermalanomalien von oberflächennahen und unterirdischen Kohlebränden immer in der näheren Umgebung von Kohle an der Erdoberfläche auftreten. Dies können ausstreichende Kohleflöze, Kohleabraumhalden, Kohlelagerhalden oder Mineingänge sein. Des Weiteren führen Kohlebrände zur Degradierung und dem Absterben von Vegetation in ihrer unmittelbaren Umgebung. Daher sind unterirdische Kohlebrände nicht unterhalb dicht mit Vegetation bedeckter Böden zu finden. Eine weitere Auswirkung der Brände ist die Entstehung pyrometamorphen Gesteines. Eine hohe thermale Intensität des Brandes vorausgesetzt, kommt es zu Farb- und Texturveränderungen des Umgebungsgesteines. Diese Auswirkungen können in Satellitenda-

ten detektiert werden, wenn diese Gesteine in entsprechend großen Arealen an der Oberfläche exponiert sind.

Basierend auf diesen Beobachtungen wurden in dieser Arbeit zwei Algorithmen entwickelt, um die drei Oberflächentypen aus Fernerkundungsdaten zu extrahieren und Kohlebrandgebiete automatisiert auszuweisen. Bei dem ersten Algorithmus handelt es sich um eine wissensbasierte spektrale Testsequenz, die die automatisierte Extraktion von Kohle, dichter Vegetation und pyrometamorphem Gestein ermöglicht. Kohleflächen werden ausgewiesen und ein Bereich in einem bestimmten Radius wird abgegrenzt. Dieser Radius kann durch den Einfallswinkel der Schichten sowie eine Tiefenbegrenzung von Kohlebränden definiert werden. Innerhalb des Radius' werden Gebiete dichter Vegetation eliminiert und pyrometamorphen Areale hervorgehoben.

Der zweite Ansatz basiert auf linear partieller Entmischung. Kohleflächen, Areale dichter Vegetation und pyrometamorphe Bereiche werden mit dieser quantitativen Methode bezüglich ihres prozentualen Sub-Pixel Anteiles extrahiert. Eine spektrale Datenbank, die aus Labor- und Feldmessungen von über 50 verschiedenen Proben erstellt wurde, dient als Referenzdatenbank für die Entmischung. Wie auch der wissensbasierte Ansatz ist diese Methode voll automatisierbar. Beide Algorithmen haben daher in Bezug auf eine großräumige Anwendung einen deutlichen Vorteil gegenüber gängigen überwachten Klassifikations- und Extraktionsmethoden, bei denen interaktive Schritte und ein deutlicher Einfluss des Bearbeiters unvermeidbar sind.

Oberflächenextraktion und die Ausweisung von Kohlebrandgebieten wurde für eine acht ETM+ Szenen umfassende Zeitreihe sowie zwei Aster Szenen für die beiden Untersuchungsgebiete in China vorgenommen. Zusätzlich wurden außerhalb der Untersuchungsgebiete Datensätze für die Gegend Baotou, in Nord-China sowie für die Jharia- und Ray Kohleabbaugebiete in Indien und das Leigh Creek Kohleabbaugebiet in Australien analysiert, um den Transfer der Algorithmen zu demonstrieren. Basierend auf den Ergebnissen automatisierter Kohleextraktion kann ein deutlicher Anstieg der bergbaulichen Aktivitäten in den beiden chinesischen Untersuchungsgebieten innerhalb der letzten 15 Jahre aufgezeigt werden. Extraktionsgenauigkeiten wurden anhand umfangreicher Kartierungen von über 50 Arealen von Kohle-, Vegetation- und pyrometamorphem Gestein sowie dem Vergleich mit sieben kartierten Mischungs-Rastern berechnet. Die Produzenten Genauigkeiten liegen dabei in den Untersuchungsgebieten für alle Oberflächen zwischen 76 % und 100 %. In den drei Gebieten, in denen der Transfer der Algorithmen getestet wurde liegen sie im Mittel bei 91 %.

Neben den bekannten Kohlebrandbereichen in den beiden Untersuchungsgebieten konnten mehrere neue Kohlebrandgebiete und potentielle Risikogebiete ausgliedert werden. Diese werden anhand detaillierter Karten vorgestellt. Innerhalb zwei dieser neu aus-

gewiesenen Kohlebrandgebiete konnten mehrere Thermalanomalien detektiert und bereits als vormalig unbekannte Kohlebrände im Gelände verifiziert werden. Dadurch konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der automatisierten Ausweisung von Kohlebrandgebieten die Detektion unbekannter Kohlebrände in Fernerkundungsdaten möglich ist. Die Kombination der Ausweisung von Kohlebrandgebieten und Detektion von Thermalanomalien wurde anhand von sechs Szenen überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausweisung von Brandgebieten die Zurückweisung fälschlich extrahierter Anomalien, die von Industrie, Siedlungen, Biomassebränden, Kalkbrennereien oder solaren Einflüssen resultieren, deutlich unterstützt. Sind Thermalanomalien außerhalb der ausgewiesenen Gebiete lokalisiert, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht um Kohlebrände. Thermalanomalien konnten hinsichtlich Anzahl und Gesamtgröße für alle prozessierten Szenen um über 50 % in Nachtszenen und über 80 % in Tagszenen reduziert werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine großflächige automatisierte Ausweisung von Kohlebrandgebieten und Risikogebieten möglich ist. In Kombination mit der Auswertung thermaler Daten können somit rezente Kohlebrandbereiche und potentielle Risikogebiete gezielt mit Methoden der Fernerkundung überwacht werden.

## Precision Target Mensuration in Vision Metrology (Hochgenaue Messung von Zielmarken in digitaler Nahbereichsphotogrammetrie)

*Johannes Otepka*

**Dissertation:** Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2004

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

**2. Begutachter:** BAppSc, MSurvSc, PhD Clive S. Fraser, Department of Geomatics, Melbourne University

Digitale Nahbereichsphotogrammetrie, im Englischen meist als „Vision Metrology“ bezeichnet, wird heutzutage als flexibles und hochgenaues 3D-Meßverfahren in unterschiedlichen industriellen Bereichen verwendet. Durch die Verwendung spezieller Zielmarken ist eine hochgenaue Punktbestimmung markierter Objektpunkte möglich. Die erzielbare Punktgenauigkeit dieser Messmethode liegt bei 1/100.000 der Objektgröße. In diesem Zusammenhang wird der Begriff „Triangulierungsgenauigkeit“ oft verwendet.

Üblicherweise werden für die Signalisierung der Punkte kreisrunde Zielmarken verwendet. Diese erlauben höchste Genauigkeit zu erzielen. Neben Zielmarken aus retro-reflektierendem Material werden auch einfache weiße Marken auf schwarzem Hintergrund benutzt. Die Wahl des Zielmarkenmaterials bzw. -typs richtet sich nach der geforderten Genauigkeit und dem notwendigen Reflektionsgrad der Signale bei der Aufnahme der Bilder.

Die Messgenauigkeit der Zielmarken ist einer der entscheidenden Faktoren für eine hohe Triangulierungsgenauigkeit. Mit Hilfe von speziellen Algorithmen werden die Zentren der Zielmarken im digitalen Bild ermittelt, welche es erlauben die Objektpunkte dreidimensional zu triangulieren. Dabei wird vorausgesetzt, dass Zielmarken "perfekte" Punkte im Raum darstellen, was aufgrund der Stärke des Markenmaterials und der Größe des Zielmarkendurchmessers nur bedingt der Fall ist. Diese Tatsache führt zu Exzentrizitäten zwischen den Zentren der abgebildeten Zielmarken und ihren tatsächlichen Mittelpunkten. Daraus resultieren Fehler im Berechnungsprozess, welche zu einer verfälschten Raumlage der Punkte führen. Ist die Orientierung der einzelnen Zielmarken bekannt, so können die entsprechenden Exzentrizitäten rechnerisch ermittelt und damit die Raumlage der Punkte korrigiert werden.

Ein zentrales Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung mathematischer Formeln und Algorithmen für die automatische Bestimmung der Kreisebenen der Zielmarken. Der dafür entworfene Prozess berechnet diese Ebenen in zwei Phasen. Zuerst wird die elliptische Form der abgebildeten Zielmarken aus den digitalen Bildern extrahiert. Anschließend wird diese Information für die eigentliche Berechnung der Kreisebene verwendet, wobei Ausgleichungsverfahren eingesetzt werden. Der dazu entwickelte Berechnungsprozess wurde in das photogrammetrische Softwarepaket Australis implementiert und anhand von praktischen Anwendungen evaluiert.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Ergebnisse von Simulationsrechnungen präsentiert, welche den Einfluss von zwei unterschiedlichen Fehlerarten aufzeigen. Der erste Teil der Simulationen untersucht die Auswirkung der oben angeführten Exzentrizität auf die Objektpunkte. Die zweite Gruppe der Simulationsrechnungen analysiert den Fehlereinfluss von gekrümmten Zielmarken auf den Zielmarkenmessprozess. Dieser Einfluss ist vor allem bei der Vermessung von gewölbten Oberflächen interessant, da hier die Zielmarken direkt auf den zu bestimmenden Oberflächen fixiert werden.

Obwohl bei den vorliegenden Untersuchungen primär theoretische Fragestellungen im Vordergrund stehen, widmet sich ein Teil der Arbeit auch der praktischen Relevanz der entwickelten Prozesse und Algorithmen. Dabei konnte bewiesen werden, dass die Berücksichtigung der Exzentrizitäten entsprechende Genauigkeitsvorteile bei hochgenauen Vermessungen bringt. Zusätzlich werden Vorteile für Oberflächenanalysen sowie Aufgaben mittlerer Genauigkeit aufgezeigt.

## Ein allgemeiner Ansatz zur Georeferenzierung von multispektralen Flugzeugscanneraufnahmen

*Christine Ries*

**Dissertation:** Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2004

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

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

Das Bedürfnis nach möglichst aktuellen, rasch verfügbaren und detaillierten Informationen über die Erdoberfläche, z. B. in Form von Orthophotos, hat in den letzten Jahren rapide zugenommen. Zur Erfüllung dieses Bedürfnisses sind flugzeuggetragene digitale Aufnahmesysteme aufgrund ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeit und aufgrund des durchgehenden digitalen Datenflusses von der Aufnahme bis zum Endprodukt besonders geeignet. Digitale multispektrale Aufnahmesysteme unterscheiden sich gemäß ihrem Aufnahmeprinzip in digitale Flächenkameras und in zeilenweise aufnehmende Systeme (Scannersysteme); letztere werden weiter unterteilt in Ein- und Mehr-Zeilenkameras sowie Rotationsscanner. Je nach Aufgabenstellung kommen unterschiedliche, zum Teil sehr spezialisierte Systeme zum Einsatz; so bieten beispielsweise Rotationsscanner die Möglichkeit der Aufzeichnung von Thermalstrahlung. Eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Nutzung multispektraler Aufnahmen z. B. in einem geographischen Informationssystem ist deren Georeferenzierung.

Die Georeferenzierung multispektraler Aufnahmen beinhaltet die Sensororientierung und die nachfolgende Orthophotoherstellung. Für multispektrale Flugzeugscanneraufnahmen werden dabei aufgrund des hochdynamischen Aufnahmeverfahrens und der damit verbundenen stetigen Änderung der äußeren Orientierung entlang der Flugbahn erhöhte Ansprüche an das mathematische Modell gestellt. Weiters sind zur Sensororientierung genügend Informationen in Form von Passinformationen am Boden und/oder direkte Beobachtungen der äußeren Orientierungsparameter entlang der Flugbahn notwendig. Letztere werden heutzutage durch den kombinierten Einsatz von Scannersystemen mit integrierten GPS/INS-Systemen (Global Positioning System / Inertial Navigation System) ermöglicht, was dem Einsatz von flugzeuggetragenen Scannersystemen zu einem regelrechten Durchbruch verholfen hat. Dagegen konnten bei älteren multispektralen Scanneraufnahmen die Parameter der äußeren Orientierung noch nicht oder nur zum Teil während des Fluges registriert werden. Die Georeferenzierung solcher Aufnahmen setzt die Verfügbarkeit von genügend Passinformationen am Boden voraus und stellt einen erheblichen Aufwand dar. Dieser Aufwand ist jedoch in Einzelfällen, z. B. wenn die Daten für Zeitreihen von Interesse sind, gerechtfertigt.

Die qualitativ hochwertige Georeferenzierung von multispektralen Scanneraufnahmen mit oder ohne GPS/INS-Unterstützung bedarf eines allgemeinen anwendbaren Ansatzes zur Sensororientierung. In dieser Arbeit wird ein solcher allgemeiner Ansatz präsentiert und seine Praxistauglichkeit an realen Datensätzen erprobt. Der Ansatz wurde am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien entwickelt und im hybriden Ausgleichungsprogramm ORIENT implementiert. Zur Modellierung der zeitlichen Variation der äußeren Orientierung entlang der Flugbahn werden zusammengesetzte kubische Polynome verwendet, die in den sogenannten Knotenpunkten mit zumindest erster stetiger Ableitung zusammenstoßen.

Die Bestimmung der Orientierungsfunktion kann einerseits indirekt über Passinformationen am Boden (Punkte und Linienelemente) oder/und direkt bzw. integriert mittels GPS/INS-Beobachtungen erfolgen. Zur Erprobung des Ansatzes wurden vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen Daten zweier Messflüge von Wien aus den Jahren 1997 und 2000 zur Verfügung gestellt. Bei beiden Flügen kam als Aufnahmesystem der multispektrale Rotationsscanner Daedalus AADS 1268 Airborne Thematic Mapper (ATM) zum Einsatz. Der Messflug 1997 erfolgte noch ohne GPS/INS-Unterstützung, dagegen war für den Messflug 2000 schon GPS/INS-Unterstützung verfügbar. Die erzielte hohe Qualität der Georeferenzierung dieser praktischen Anwendungen bestätigt die Leistungsfähigkeit der präsentierten Methode und ihrer EDV-mäßigen Implementierung.

## Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken

*Thomas Redl*

**Diplomarbeit:** Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2005

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

**Betreuer:** Dipl.-Ing. Dr.techn. Camillo Ressler

Terrestrisches Laserscanning und die Nahbereichsphotogrammetrie stellen zwei unterschiedliche Technologien zur Objektaufnahme dar. Beide besitzen unterschiedliche Stärken und Schwächen. Werden diese Technologien zu einem System zusammengefasst, entsteht ein sehr effizientes Vermessungssystem, das sämtliche Vorteile vereint. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein derartiges hybrides System der Firma RiegI (LMS-Z420i + Digitalkamera Canon Eos 1Ds) zur Aufnahme von zwei Bauwerken verwendet.

Bei dem ersten aufgenommenen Gebäude handelt es sich um das Hauptgebäude der Technischen Universität Wien. Der Laserscanner hat das Gebäude von verschiedenen Standpunkten aus rasterförmig abgetastet und zeitgleich wurden digitale Photos aufgenommen. Dadurch entstehen diskrete Darstellungen in Form von 3D-Punktwolken, die in ein einheitliches Koordinatensystem zu transformieren sind. Letztendlich entsteht eine einzige Punktwolke. Mit Hilfe der Photos kann nun die Punktwolke eingefärbt werden. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, Orthophotos (kontinuierliche 2D-Darstellungen) zu berechnen. Um das Gebäude 3D-kontinuierlich anschaulich repräsentieren zu können, wurde ein texturiertes Modell der TU erstellt. Da die Dachlandschaft (vor allem die Textur) vom Boden aus nicht erfassbar ist, stammt diese aus einer Luftbildauswertung. Dieses Modell liegt als VRML-Datei vor und kann unter der Internetadresse [www.ipf.tuwien.ac.at/teaching/vrml/TU/TU.wrl](http://www.ipf.tuwien.ac.at/teaching/vrml/TU/TU.wrl) abgerufen werden.

Als zweites Gebäude wurde ein ehemaliger römischer Tempelgang (Propyläum) in Palestrina in der Nähe von Rom aufgenommen. Dabei wurde dieselbe Systemkonfiguration wie bei dem TU-Projekt verwendet.

Allerdings handelt es sich bei dieser Ruine um ein sehr komplex strukturiertes Bauwerk, weswegen der Zeitaufwand für die Aufnahme erheblich größer war. Auch bei diesem Projekt waren Punktwolken und Orthophotos das Ergebnis.

In dieser Arbeit werden die einzelnen Arbeitsschritte, die für die Durchführung der beiden Messkampagnen nötig waren, detailliert dargestellt und verglichen. Die für die Auswertung verwendeten Programme RiScanPro der Firma RiegI, CityGrid Ortho und CityGrid Modeler der Firma Geodata IT, sowie ORIENT / ORPHEUS des I.P.F. der TU Wien werden vorgestellt. Den Abschluss der Arbeit bildet eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse, um in Zukunft Projekte effizient planen und durchführen zu können.

## Vergleich von Lösungsstrategien im Rahmen der GRACE-Schwerfeldprozessierung

*Christoph Abart*

**Magisterarbeit:** Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2005

**Betreuer:** Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Roland Pail

Die Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) ist der präzisen Bestimmung des Erdgravitationsfeldes gewidmet. Das Messprinzip von GRACE basiert dabei auf satellite to satellite tracking im high-low und low-low mode. Die Arbeit geht auf drei mögliche Ansätze näher ein, und stellt die mathematischen Modelle im Detail vor. Es handelt sich dabei um die numerische Integration basierend auf Distanzen beziehungsweise auf Distanzänderungen, und das Energieintegral. Für die Untersuchung der Leistungscharakteristika der einzelnen Methoden wurden verschiedene Simulationen mit und ohne Rauschen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass im rauschfreien Fall die Lösungen aller Ansätze mit dem Referenzmodell bis auf numerische Genauigkeit übereinstimmen. Im Falle von verrauschten Beobachtungen zeigten sich die spezifischen Probleme der einzelnen Modelle. Mögliche Lösungsansätze für diese Probleme werden aufgezeigt. Aufgrund des großen Rechenaufwands der numerischen Integration, wurde die entsprechende Software für parallele Hardware adaptiert. Zusätzlich zu den simulierten Szenarien wurden auch reale Datensätze ausgewertet. Die dabei auftretenden Probleme werden aufgezeigt und mögliche Verbesserungen vorgeschlagen. Abschließend wurde ein Erdschwerfeld bis Grad und Ordnung 50 berechnet.

## Numerische Differentiationsverfahren mit voller Kovarianz-Information im Rahmen der GOCE-Erdschwerefeldlösung

*Carmen Jandrisevits*

**Magisterarbeit:** Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2005

**Betreuer:** Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Roland Pail

Im Rahmen der Analyse der GOCE-Orbitdaten und der Berechnung des Erdschwerefeldes unter Anwendung des Energieintegral-Ansatzes ist es erforderlich, aus den kinematischen Orbit-Positionen die Geschwindigkeiten abzuleiten. Die Genauigkeit der Positionen wird dabei durch eine volle Varianz-Kovarianz-Matrix beschrieben. Es wurden unterschiedliche numerische Differentiationsverfahren implementiert und verglichen. Es wurde getestet, mit welchen Berechnungskonfigurationen im Falle von rauschfreien und verrauschten Positionszeitreihen die genauesten Geschwindigkeiten abgeleitet werden können. Die Hinzunahme einer vollbesetzten Varianz-Kovarianzmatrix bei den verrauschten Berechnungen konnte keine allzu große Genauigkeitssteigerung bewirken. Weiters wurden Geschwindigkeitsberechnungen mit Ausreißern in den Positionsdaten durchgeführt. Die abgeleiteten Geschwindigkeiten waren zunächst unzufriedenstellend und zeigten große Abweichungen zu den Referenzgeschwindigkeiten. Durch Hinzunahme der zu den Ausreißern gehörigen Kofaktoren in der Varianz - Kovarianzmatrix konnten brauchbare Ergebnisse ermittelt werden. Abschließend wurden für einige ausgewählte Konfigurationen die abgeleiteten Geschwindigkeiten dazu verwendet, um mittels Energieintegral-Ansatz Schwerefeldmodelle bis Grad und Ordnung 80 zu berechnen. Es wurde dabei festgestellt, dass die genauesten abgeleiteten Geschwindigkeiten aufgrund der Filterwirkung der Differentiatoren nicht immer die besten Schwerefeldmodelle liefern.

## Modellierung von zeitlichen Variationen des Schwerefeldes im Rahmen der GOCE - Datenauswertung

*Sandro Krauss*

**Magisterarbeit:** Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, 2005

**Betreuer:** Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Roland Pail

Für eine Reihe von geowissenschaftlichen Forschungen ist die Kenntnis eines globalen Geoids mit homogener Genauigkeit von großer Bedeutung. Da die Erde jedoch keine homogene Kugel ist, nimmt auch das Erdschwerefeld keinen konstanten Wert an. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Phänomen von zeitlichen Variationen des Erdschwerefeldes. Im Blickpunkt stehen dabei die direkten (astronomischen) Gezeiten, die indirekten Erdgezeiten, die Ozeangezeiten sowie Einflüsse durch die Atmosphäre, die Landhydrologie und die Ozean-

topographie. Es wird untersucht, wie stark die Schwankungen im Erdschwerefeld auf Grund der zeitlichen Effekte sind, und in welchem Ausmaß sie das Signal des Satellitensensors der Schwerefeldmission GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) beeinflussen. Damit kann dann die Aussage getroffen werden, ob es möglich ist, Teile dieser zeitlichen Variationen direkt mit dem Sensor des Satelliten zu messen, oder ob im Nachhinein Korrekturen mit Hilfe von externen Modellen in Betracht gezogen werden müssen. Ursache für die größten Schwankungen sind die Erd- und Ozeangezeiten. Jedoch zeigten auch Effekte wie jene der Landhydrologie, der Ozeantopographie oder der Atmosphäre, dass es unumgänglich ist, die zeitlichen Variationen im Vorhinein aus geophysikalischen Modellen zu berechnen, da speziell langperiodische Variationen auf Grund der kurzen Messperioden von GOCE von zwei Mal 6 Monaten, und der zu geringen Messgenauigkeit kaum bestimmbar sind.

## Relevante GIS Analyse Module für das Hochwasser Management System der Stadt Graz

*Andreas Schramm*

**Magisterarbeit:** Institut für Geoinformation, Technische Universität Graz, 2005

**Betreuer:** Ao. Univ.-Prof. Dr.phil. Norbert Bartelme, in der Betreuung mitwirkende Person: Ass.-Prof., Dipl.-Ing. Dr.techn. Walter Klostius

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre in Österreich, sowie den Nachbarländern, haben das Bewusstsein verstärkt, dass vermehrt Maßnahmen hinsichtlich Schutz und Vorhersage im Katastrophenfalle gesetzt werden müssen. Für den Aufbau eines Managements (Früherkennung, rechtzeitige Warnung, Einleitung geeigneter Maßnahmen) eignet sich ein GIS. Der Vorteil eines GIS ist die übersichtliche Evidenzhaltung und gezielte Weiterverarbeitung der Geodaten (verschiedene Berufsgruppen können auf eine konsistente Datenbasis zurückgreifen). Ein GIS ermöglicht eine anwendungsspezifische Analyse und Visualisierung von Geodaten. Verschiedene Stadien, der Verlauf und 3D Ansichten der Überschwemmungszonen bzw. der Umgebung können erstellt und präsentiert werden. Für die Stadt Graz soll so ein Hochwassermanagementsystem in ArcGIS erstellt werden. Die entworfenen Werkzeuge sollen in Zukunft als Entscheidungshilfen im Katastrophenschutz eingesetzt werden. Diese Magisterarbeit, die auf zwei vorhergehenden Arbeiten aufgebaut ist, befasst sich mit der Weiterbearbeitung der relevanten Ausgangs- und Hydrologiedaten, der Programmierung der GIS Applikation und der Funktionalität des Programms HMS nach der Fertigstellung der ersten Phase des Projektes. Es wurden geeignete Werkzeuge zur Analyse und Visualisierung der Überschwemmung, der betroffenen Gebäude und Straßenzüge und der Routenplanung erstellt. Weiters können diese Ergebnisse zusätzlich in Form von Berichten und Tabellen ausgegeben werden.

## Recht und Gesetz

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

### Eigentumsgrenzen von Privatgewässern; § 3 WRG

*Ist ein See ein Privatgewässer im Sinne des § 3 Abs 1 lit d WRG, dann richtet sich der Grenzverlauf zu angrenzenden Grundstücken nach den Grundstückseigentumsgrenzen, weil Privatgewässer als Zugehör der jeweiligen Grundstücke zu betrachten sind.*

*Bei privaten Seen ist das Eigentum am Wasserbett, bei privaten fließenden Gewässern ist das Eigentum an Ufergrund maßgeblich.*

*Der regelmäßig wiederkehrende ordentliche Höchstwasserstand ist bei Privatgewässern nicht maßgeblich.* (OGH, 12. August 2004, GZ 10b295/03v)

#### Sachverhalt:

Die Kläger sind neben anderen Personen Miteigentümer einer Liegenschaft, auf der sich unter anderem der Z\*\*\*\* See (auch I\*\*\*\*see), in der Folge kurz "See", befindet. Dieser See ist ein Privatgewässer gemäß § 3 Abs 1 lit d WRG. Die Beklagten sind allesamt Mit- bzw Alleineigentümer unmittelbar an das Seegrundstück angrenzender Liegenschaften.

Die Kläger begehren, die Beklagten schuldig zu erkennen, es zu unterlassen, ihr Eigentum am Seegrundstück durch Einbringung näher bezeichneter Gegenstände (Naturstein- und Waschbetonplatten, Schotter, Holzbretter, Holzgeländer, Holzsteg) zu stören und den vorigen Zustand durch Entfernung der eingebrachten Gegenstände wieder herzustellen. Die Beklagten hätten von ihren Ufergrundstücken aus jeweils widerrechtlich Einbauten auf dem Seegrundstück vorgenommen. Die Einbauten befänden sich in einem Bereich, der seit jeher ständig von der Wasserwelle überspült worden sei, und lägen zum Teil bis zu 1 m unter der Wasseroberfläche. Die Grenze zwischen dem Seegrundstück und den Ufergrundstücken der Beklagten verlaufe entlang der durch den regelmäßig wiederkehrenden ordentlichen höchsten Wasserstand gebildeten Uferlinie.

Die Beklagten wendeten ein, die Einbauten befänden sich auf den in ihrem Eigentum stehenden Grundstücken. Unter Wasser seien noch Reste einer Uferbefestigung und Grenzzeichen vorhanden, die die Grenze zwischen den Grundstücken der Beklagten und dem Seegrundstück kennzeichneten. Seit Errichtung dieser Grenzzeichen und Uferbefestigungen sei der Wasser-

stand des Sees gestiegen; dieser sei nach Westen hin ausgeföhrt. Aus diesem Umstand könnten die Miteigentümer des Seegrundstücks aber nicht ihr (Mit-)Eigentum an den Grundstücken der Beklagten ableiten.

Das Erstgericht wies das Klagebegehren ab.

Es stellte fest, im See befänden sich Objekte (Baumstämme, Steinmauern, Steinhaufen, Einzelsteine, Büsche etc), die die frühere Uferlinie und damit auch die Grenze zwischen den Landgrundstücken und dem See gebildet hätten. Spätestens seit 1824 seien diese Objekte unter Wasser gestanden. Die Formation dieser Objekte sei in keinem der historischen und auf Vermessung aufbauenden Pläne eingetragen. In der Zeit von 1896 bis 1963 habe sich die Seefläche vergrößert, sodass ein zuvor 5,8 m breiter Uferstreifen nunmehr unter Wasser liege. Die Beklagten und deren Rechtsvorgänger hätten verschiedene Gegenstände in den See eingebracht bzw Maßnahmen wie Anschotterungen vorgenommen. Mehrfach sei der im Bereich des Sees gelegene Schilfgürtel von den Beklagten bzw deren Rechtsvorgängern geschnitten worden; dies sei etwa 2- bis 4-mal in 10 Jahren der Fall gewesen. Ein Pachtvertrag über die Einbauten der Beklagten existiere nicht. Die Kläger übten auf dem See, und zwar auch vom Ufer aus, hauptsächlich die Fischerei aus.

#### Aus der Begründung:

Bei einer Eigentumsfreiheitsklage – wie hier – ist der wahre, vom Kläger zu beweisende Grenzverlauf als Vorfrage zu klären. Voraussetzung für die Berechtigung eines Unterlassungsbegehrens ist nämlich ein Eingriff in ein bestehendes Eigentumsrecht. Demnach muss der Kläger den Nachweis der von ihm behaupteten Grenze erbringen. Lassen sich entsprechende Feststellungen über den behaupteten Grenzverlauf nicht treffen, so ist das auf Unterlassung bzw Wiederherstellung gerichtete Klagebegehren angesichts der den Kläger für den richtigen Grenzverlauf treffenden Behauptungs- und Beweislast mangels Nachweises der Verletzung dessen Eigentumsrechts abzuweisen. Die Behauptung eines bestimmten Grenzverlaufs kann weder durch Grundbuchsauszüge noch durch Mappenkopien bewiesen werden, maßgeblich sind die Naturgrenzen.

Die Kläger sind der Ansicht, die Grenze zwischen Wasserbett und anrainenden Grundstücken sei stets nach dem regelmäßig wiederkehrenden ordentlichen höchsten Wasserstand zu ziehen. Nun hat der OGH in der Tat bereits in mehreren Entscheidungen die Rechtsansicht vertreten, dass sich die Grenzen zwischen dem wasserführenden oder verlassenen Bett eines öffentlichen Gewässers und den anrainenden Grundstücken anderer Eigentümer als des Bundes nach dem regelmäßig wiederkehrenden, also dem ordentli-



chen Höchstwasserstand richten (SZ 66/11; SZ 62/59; SZ 53/38). Alle diese Entscheidungen betrafen aber öffentliche Gewässer bzw diesen gleichzuhaltende Privatgewässer des Bundes. Wasserführende und verlassene Bette öffentlicher Gewässer sowie deren Hochwasserabflussgebiet sind nach § 4 Abs 1 WRG öffentliches Wassergut, wenn unter anderem der Bund als Eigentümer in den öffentlichen Büchern eingetragen ist. Da das Wasserrechtsgesetz keine Definition der Uferlinie enthält, war es für öffentliche Gewässer nötig, für eine verlässliche Grenzziehung zwischen Wasserbett und anrainenden Grundstücken zu sorgen, die "zumindest für den Normalfall" eben nach dem regelmäßig wiederkehrenden ordentlichen höchsten Wasserstand zu erfolgen hat (SZ 53/38 ua).

Bei den Privatgewässern ist hingegen die Grenzziehung zwischen dem Wasserbett und den anrainenden Grundstücken in § 3 WRG geregelt: § 3 Abs 1 WRG sieht vor, dass Privatgewässer, wenn nicht von anderen erworbene Rechte vorliegen, dem Grundeigentümer gehören. Nach § 3 Abs 3 WRG sind die im § 3 Abs 1 lit d WRG genannten Privatgewässer – also auch der hier streitverfangene See –, sofern nichts anderes nachgewiesen wird, als Zugehör der Grundstücke zu betrachten, auf oder zwischen denen sie sich befinden, und zwar nach Maßgabe der Uferlänge eines jeden Grundstücks. Der zuletzt zitierte Satz kann nur so verstanden werden, dass bei den in § 3 Abs 1 lit d WRG angeführten Gewässern – den privaten Seen – das Eigentum am Wasserbett, bei den im § 3 Abs 1 lit e WRG angeführten fließenden Gewässern aber das Eigentum an Ufergrund maßgeblich ist (Krzizek, Kommentar zum WRG, 31). Der Gesetzgeber hat somit ausdrücklich festgelegt, dass das Wasserbett eines Sees, der ein Privatgewässer ist, dem Eigentümer des Grundes gehört, auf dem es sich befindet. Lediglich deshalb, weil eine den zitierten Bestimmungen des § 3 WRG korrespondierende Norm für öffentliches Gewässer fehlt, war die Rechtsprechung genötigt, für die Grenzziehung zwischen dem Wasserbett eines öffentlichen Gewässers und daran angrenzenden Grundstücken eine klare Regel zu schaffen. Die Übertragung dieser Regel auf Privatgewässer ist aber angesichts der ohnehin bestehenden gesetzlichen Normen (§ 3 WRG) weder geboten noch zulässig.

Das hat zur Folge, dass das Wasserbett des hier zu beurteilenden Sees nach Maßgabe der Grundgrenzen im Eigentum der jeweiligen Grundeigentümer steht. Die Ansicht, das Eigentum am Gewässer folge nach österreichischem Recht nicht automatisch dem Eigentum am Grundstück (siehe nur Twaroch, Eigentum und Grenzen an Gewässern, in NZ 1992, 121 [124]), hat im Sinne dieser Ausführungen nur für öffentliche Gewässer Gültigkeit, nicht aber auch für Privatgewässer, für die eine konkrete gesetzliche Regelung existiert (siehe hierzu im Übrigen Twaroch aaO 122, wo ohnehin erkannt wird, dass Privatgewässer Zubehör des Grundeigentums darstellen).

## Grenzüberbau; §§ 416 u 418 ABGB

*Der Grenzüberbau kann zum Eigentumserwerb am Nachbargrundstück führen, und zwar je nach den Umständen des Einzelfalles entweder nach § 418 dritter Satz ABGB oder analog zu den Vorschriften der §§ 415, 416 ABGB.*

*Aus § 418 Satz 3 ABGB ist für bestimmte Fälle des Grenzüberbaues sowohl eine Durchbrechung des Grundsatzes "superficies solo cedit" als auch – damit verbunden – des Eintragungssatzes abzuleiten. (VwGH, 23. Sept. 2002, GZ 2000/05/0171)*

### Sachverhalt:

Die Beschwerdeführerin (im Weiteren BF) ist Eigentümerin des Grundstückes Nr. 8/1. Dieses Grundstück grenzt in einem Teilbereich nordost- bzw. südostseitig (Ecke) an das Grundstück Nr. 3033, das im Eigentum der Ehegatten E steht. An dieser Grenze befindet sich eine aus dem Mittelalter stammende Mauer, bestehend aus gemauertem Bruchsteinmauerwerk. Auf dem Grundstück Nr. 3033 ist direkt an diese Mauer ein Wohngebäude angebaut, während auf dem Grundstück Nr. 8/1 an die Mauer eine höher gelegene unbebaute Fläche (Garten) anschließt. Im Jahr 1892 ist die Demolierung eines bestehenden Stallgebäudes und Neuerrichtung eines Stallgebäudes samt Schuppen an der gegenständlichen Mauer bewilligt worden. 1971 wurde die Baubewilligung für den Umbau des Stallgebäudes in das jetzt bestehende Wohngebäude erteilt.

Mit Bescheid vom 27. Mai 1999 wurde gemäß § 33 Abs. 2 der nöBO der BF der baupolizeiliche Auftrag erteilt, binnen acht Wochen nach Rechtskraft dieses Bescheides die Mauer zum Grundstück Nr. 3033 im Bereich der darunter liegenden Aufenthaltsräume trocken zu legen und anschließend gegen Feuchtigkeit abzudichten. Nach dem bautechnischen Gutachten sei die Mauer zwar im Zeitpunkt der Beurteilung standssicher und tragfähig, es lasse sich allerdings nicht vorausschauend abschätzen, wie lange diese Standsicherheit unter Berücksichtigung weiterer Durchfeuchtung noch gegeben sein werde, da die Stärke und der genaue Materialaufbau der Mauer (Baubestand aus dem Mittelalter) nicht ausreichend bekannt sei.

Die BF wendete ein, die Mauer stehe weder auf ihrem Grund noch gehöre sie ihr und falle auch nicht in ihren Verantwortungsbereich. Sie sei vielmehr Bestandteil des Nachbarhauses.

### Aus der Begründung:

Nach § 33 Abs. 1 der Nö Bauordnung 1996 (BO) hat der Eigentümer eines Bauwerks dafür zu sorgen, dass dieses in einem der Bewilligung oder der Anzeige entsprechenden Zustand ausgeführt und erhalten wird. Er hat Baugebrechen, durch welche die Standsicherheit,

die äußere Gestaltung, der Brandschutz, die Sicherheit von Personen und Sachen beeinträchtigt werden oder die zu unzumutbaren Belästigungen führen können, zu beheben. Die belangte Behörde hat im angefochtenen Bescheid zutreffend erkannt, dass die Frage, wer Eigentümer eines Bauwerkes ist, die Baubehörde als zivilrechtliche Vorfrage (§ 38 AVG) zu prüfen hat. Sie führt weiters zutreffend aus, dass eine bindende Entscheidung dieser Vorfrage durch die hiefür zuständigen Zivilgerichte nicht erfolgt ist.

Der vermessungstechnische Sachverständige kam zu dem Ergebnis, dass nach sämtlichen Katastralmappen die Grenze zwischen den Grundstücken Nr. 3033 und 8/1 nordöstlich der Mauer verlaufe, die Mauer also zum Grundstück Nr. 8/1 der BF gehöre. Die belangte Behörde ist auf dieser Grundlage in Anwendung des sich aus § 297 ABGB ergebenden Grundsatzes "superficies solo cedit" in Verbindung mit dem in § 431 ABGB sowie § 4 des Allgemeinen Grundbuchgesetzes verankerten Eintragungsgrundsatz zu dem Ergebnis gelangt, dass die Mauer im Eigentum der BF stehe.

Dabei übersieht die belangte Behörde jedoch, dass der OGH 1997, Zl. 4 Ob 266/97i (SZ 70/185) ausgesprochen hat, dass aus dem Rechtsgedanken des § 418 Satz 3 ABGB für bestimmte Fälle des Grenzüberbaues sowohl eine Durchbrechung des Grundsatzes "superficies solo cedit" als auch – damit verbunden – des Eintragungsgrundsatzes abzuleiten ist. Im Konfliktfall geht das Postulat korrespondierender Eigentumsverhältnisse an Grund und unteilbarem Gebäude dem Eintragungsgrundsatz vor. Derartige Schwierigkeiten treten dann auf, wenn das Gesetz ausnahmsweise dem Gebäudeeigentümer eine Eigentumsposition am überbauten Grundstück einräumt.

Der VwGH hat bereits in seinem Erkenntnis vom 25. Oktober 1994, Zl. 92/05/0122, unter Hinweis auf die jüngere Rechtsprechung des OGH die Auffassung vertreten, dass der Grenzüberbau zum Eigentumserwerb am Nachbargrundstück führen kann und zwar je nach den Umständen des Einzelfalles entweder nach § 418 dritter Satz ABGB oder analog zu den Vorschriften der §§ 415, 416 ABGB.

Im vorliegenden Fall ist die mittelalterliche Mauer im Jahr 1892 mit dem Anbau des Stallgebäudes, welches später in ein Wohngebäude umgebaut worden war, ein untrennbarer Bestandteil, nämlich eine Außenmauer

dieses Gebäudes geworden. Somit liegt – ex post betrachtet – ein Grenzüberbau vor, wobei sich lediglich eine Mauer, also nur ein verhältnismäßig geringer Teil des Hauses, jenseits der Grenze befindet. Der OGH hat den Fall, dass nur ein Randstreifen für das Nachbargebäude in Anspruch genommen wird, dem § 416 ABGB unterstellt, wonach dann, wenn fremde Materialien nur zur Ausbesserung einer Sache verwendet werden, die fremde Materie dem Eigentümer der Hauptsache zufällt. Diese Regelung passt nach der Anschauung des OGH nicht nur für die Ausbesserung, sondern auf jede Verbindung sehr ungleichwertiger Sachen.

Der VwGH verkennt nicht die Gefahr, dass bei Heranziehung der Rechtsprechung des OGH in der oben wiedergegebenen allgemeinen Form die Gefahr besteht, dass durch eine konsenslose Bauführung über der Grenze, dem damit verbundenen Eigentumserwerb und schließlich durch nachträgliche Baubewilligung das Erfordernis der Eigentümerzustimmung zum Nachteil des Eigentums des im Wege des Überbaus in Anspruch genommenen Nachbarn umgangen werden könnte, weil § 416 ABGB hinsichtlich der Eigentümerposition weder auf den Willen noch auf einen guten Glauben des Eigentümers der höherwertigen Sache abstellt. Darauf ist aber hier nicht weiter einzugehen, weil im vorliegenden Fall ein derartiger Missbrauch nicht zu befürchten ist, da sich die BF durch den Eigentumsübergang nicht beschwert erachtet.

In Fortführung des Gedankens des § 416 ABGB ist es auch einleuchtend, dass es für den Eigentumserwerb der Ehegatten E bzw. ihrer Rechtsvorgänger an der Mauer ohne Bedeutung ist, dass sich die Mauer schon lange Zeit zuvor an derselben Stelle befunden hat. Denn § 416 ABGB setzt stets zunächst abgesondertes Eigentum an Haupt- und Nebensache voraus. Erst eine Betrachtung der Funktion der Nebensache im Rahmen der verbundenen Sache führt zu dem Ergebnis, dass die Verbindung als untrennbar in dem Sinn anzusehen ist, dass eine Trennung wirtschaftlich unvernünftig (untunlich) wäre. Diese Voraussetzung ist auf Grund der nunmehrigen Verwendung des Mauerwerks als Außenmauer jedenfalls zu bejahen.

Dementsprechend ist davon auszugehen, dass der von der Mauer überbaute Teil des Grundstückes Nr. 8/1 und damit auch die Mauer selbst nicht im Eigentum der BF sondern in jenem der Ehegatten E steht.

## Veranstungskalender

### GI in agricultural monitoring and land use planning

12.–19. August 2005 International Summer School  
Szekesfehervar, Ungarn  
Internet: [www.geo.info.hu/giss2005/](http://www.geo.info.hu/giss2005/)

### International Symposium on Generalisation of Information

14. – 16. September 2005 Berlin, Deutschland  
e-mail: [office@horst-kremers.de](mailto:office@horst-kremers.de)  
Internet: [www.horst-kremers.de/ISGI/](http://www.horst-kremers.de/ISGI/)

### SVGopen 2005

15. – 18. August 2005 Enschede, Niederlande  
e-mail: [svgopen2005@telin.nl](mailto:svgopen2005@telin.nl)  
Internet: [www.svgopen.org/2005/](http://www.svgopen.org/2005/)

### 9<sup>th</sup> 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](mailto:ecdl@ecdl2005.org)  
Internet: [www.ecdl2005.org/](http://www.ecdl2005.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](mailto:f.rottensteiner@unsw.edu.au)  
[stilla@bv.tu-muenchen.de](mailto:stilla@bv.tu-muenchen.de)  
Internet: [www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05](http://www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05)

### Terrestrisches Laserscanning, Technologien – Anwendungen – Entwicklungen

22. September 2005 Basel, Schweiz  
Internet: [www.scanningschweiz.ch](http://www.scanningschweiz.ch)

### 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](mailto:fduplessis@openspatial.co.za)  
Internet: [www.africagis2005.org](http://www.africagis2005.org)

### Kuwait First International Remote Sensing Conference

26. – 28. September 2005  
Tel.: +965 2453036 - 2453036 - 2413047  
Fax: +965 2405018  
Internet: <http://www.kuwaitremotesensing.com/>

### DMGIS'05 – The 4<sup>th</sup> ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS

5. – 8. September 2005 Pontypridd (near Cardiff), Wales/Großbritannien  
e-mail: [dmgis05@gmail.com](mailto:dmgis05@gmail.com)  
Internet: [www.comp.glam.ac.uk/GIS/DMGIS05/](http://www.comp.glam.ac.uk/GIS/DMGIS05/)

### The 4th FIG Regional Conference for Latin America and the Caribbean

26. – 29. September 2005 Havanna, Kuba  
e-mail: [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net)  
Internet: [www.fig.net/havana](http://www.fig.net/havana)

### Photogrammetrische Woche 2005

5. – 9. September 2005 Stuttgart, Deutschland  
Internet: [www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html)

### GeoSolutions 2005

28. – 29. September 2005 Birmingham, Großbritannien  
Tel: +44 (20) 8987 8884  
Fax: +44 (20) 8987 8886  
e-mail: [sweller@cmpinformation.com](mailto:sweller@cmpinformation.com)  
Internet: [www.geosolutions-expo.com](http://www.geosolutions-expo.com)

### ISPRS Workshop Laser Scanning 2005

12. – 14. September 2005 Enschede, Niederlande  
Tel: +31-53-4874358  
Fax: +31-53-4874335  
e-mail: [meester@itc.nl](mailto:meester@itc.nl)  
Internet: [www.itc.nl/isprswgiii-3/laserscanning2005](http://www.itc.nl/isprswgiii-3/laserscanning2005)

### InterGIS 11

1. – 3. Oktober 2005 Budapest, Ungarn  
Tel: +7 (8652) 35 8510  
Fax: +7 (8652) 35 4033  
e-mail: [vsbelozerov@yandex.ru](mailto:vsbelozerov@yandex.ru)

### 7<sup>th</sup> 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  
Tel: +49 (721) 9313 3740    Fax: +49 (721) 9313 3710  
e-mail: ofreier@hinte-messe.de  
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

### GEO-INFO Congres

23. – 25. November 2005      Amsterdam,  
Tel: +31 (493) 328 628      Niederlande  
Fax: +31 (493) 328 601  
e-mail: info@geo-info.nl    Internet: www.geo-info.nl

### The CLGE Seminar EUROPEAN PROFESSIONAL QUALIFICATIONS IN GEODETIC SURVEYING

1. – 2. Dezember 2005      Brüssel, Belgien  
Internet: www.clge.org

### 5<sup>th</sup> International Conference and Exhibition “Laser scanning and Digital Aerial photography. Today and Tomorrow“

9. – 10. Dezember 2005      Moskau, Rußland  
Tel: +7 095 959 40 90/+7 095 959 40 80  
Fax: +7 095 959 40 93  
e-mail: conference@geokosmos.ru  
Internet: www.geokosmos.ru

### Intergeo East 2006

7. – 9. März 2006      Belgrad, Serbien  
Tel: +49 (0) 721 931 33 740      und Montenegro  
Fax: +49 (0) 721 931 33 710  
E-mail: ofreier@hinte-messe.de  
Internet: www.intergeo-east.com

### ASPRS 2006

1. – 5. Mai 2006      Reno, Nevada, U.S.A.  
Internet: www.asprs.org/reno2006/

## Mitteilungen und Tagungsberichte

### DACH 2005 – Dreiländertagung der freiberuflichen Vermessungsingenieure aus Deutschland, Österreich und der Schweiz

Die Drei-Länder-Tagung der freiberuflichen Vermessungsingenieure aus Deutschland, Österreich und der Schweiz vom 18. – 21. Mai 2005 in Bad Ragatz (CH), war mit über 200 gemeldeten Teilnehmern relativ gut besucht; Österreich war aber durch seine Vermessungsingenieure unterdurchschnittlich vertreten.

Aus den interessanten Fachvorträgen<sup>1)</sup> und Sitzungen der Berufsverbände<sup>2)</sup> sind zwei Gedanken weiterzugeben und auf die Gegebenheiten in unserem Land hin zu beleuchten.

Die Regelung des Befugnisumfanges in Österreich findet sich im § 4 Ziviltechnikergesetz. Gemäß § 4 Abs. 1 ZTG sind Ziviltechniker, sofern bundesgesetzlich nicht eine besondere Berechtigung gefordert wird, auf dem

gesamten, von ihrer Befugnis umfassten Fachgebiet zur Erbringung von planenden, prüfenden, überwachenden, beratenden, koordinierenden und treuhänderischen Leistungen, insbesondere zur Vornahme von Messungen, zur Erstellung von Gutachten, zur berufsmäßigen Vertretung vor Behörden und Körperschaften öffentlichen Rechts, ferner zur Übernahme von Gesamtplanungsaufträgen, sofern wichtige Teile der Arbeiten dem Fachgebiet des Ziviltechnikers zukommen, berechtigt.

Diese Regelung des ZTG 1993 stellt eine Entflechtung und Präzisierung der alten Bestimmung dar. Zur Beurteilung der Frage, was unter dem „gesamten Fachgebiet“ zu verstehen ist, sind die jeweiligen Studienordnungen und das durch sie vermittelte Maß an Kenntnissen heranzuziehen. Maßgeblich ist der für die jeweilige Ausbildung vorgesehene Studienplan. Wenn auch nur enzyklopädisches Wissen vermittelt wird, ist dieses bei der Beurteilung des Befugnisumfanges ebenso zu berücksichtigen.

1) Festvortrag von FIG-Präsident Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Magel, TU München, zum Thema „Identität, Stellung und Auftrag des Vermessungsingenieurs heute und morgen“.

2) Bericht von GE-Präsident Dr.-Ing. Schuster über die Tätigkeiten der GE, Geometer Europas.

So sind gem. § 4 Abs. 2, Ziff. b ZTG ausschließlich die Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen zur Verfassung von Teilungsplänen zur katastralen und grundbücherlichen Teilung von Grundstücken und von Lageplänen zur grundbücherlichen Abschreibung ganzer Grundstücke, zu Grenzermittlungen nach dem Stande der Katastralmappe oder auf Grund von Urkunden, einschließlich der Vermarkung und Verfassung von Plänen zur Bekanntgabe von Fluchtlinien beauftragt.

Neben diesen speziellen Festlegungen ist, unter Beachtung der Ausführungen von Herrn Prof. Magel, der Begriff des „gesamten Fachgebietes“ zu beachten, wozu ein Blick in den jeweiligen Studienplan vorzunehmen ist. Dieser wurde in den letzten Dezenien mehrmals, den technischen Entwicklungen Rechnung tragend, adaptiert und umfasste neben den „klassischen“ und geodätisch eindeutigen Fächern (z.B. in den Jahren 1960 – 1980) auch folgende Fachbereiche<sup>3)</sup>:

- Ingenieurwissenschaften I, Wasserbau
- Ingenieurwissenschaften II, Straßen- und Eisenbahnbau
- Städtebau- und Siedlungswesen
- Meliorationswesen
- Agrarische Operationen
- Land- und Forstwirtschaft
- Bau- und Eisenbahngesetzkunde
- Allgem. Rechtslehre, Bodenrecht, Grundbuchsrecht
- Gesetze über öffentliche Bücher

Daraus ist abzuleiten, dass bei entsprechenden theoretischen und praktischen Kenntnissen, die sich der Ziviltechniker angeeignet hat, Planungsleistungen mit geographischem Bezug etwa auf folgenden Bereichen erbracht werden können:

- Lage-/Höhen- und Themenpläne für Wasser-, Straßen-, Eisenbahnbauprojekte und ähnliche,
- Lage-/Höhen- und Themenpläne für Kommassierungen, Flurbereinigungen, für das Landmanagement, für die Bodenordnung und Erneuerung in der Stadt- und Landentwicklung und ähnliches,
- Lage-/Höhen- und Themenpläne für die Land- und Forstwirtschaft u.dgl.m.

Überschneiden sich Studien hinsichtlich ihres Ausbildungsplanes, so kann es durchaus auch zu einer Überschneidung der ZT-Befugnisse kommen. Dies war beispielsweise immer bei den Studien für Architektur und Bauwesen bezüglich der Hochbauplanung der Fall.

Das was die Gesellschaft und die Politik in zunehmendem Maße braucht, sind sattelfeste Generalisten für sämtliche Planungen mit geographischem Bezug. Der Geodät ist gewohnt, vom Großen ins Kleine zu arbeiten, und ist zufolge seiner Kompetenz im Kataster d.h. im geographischen „Grundlagenplan“ der ideale Fachmann in sämtlichen Fragen des städtischen und ländlichen Landmanagements.

Abschließend sei, unter Hinweis auf die Ausführungen von GE-Präs. Schuster, noch eine Bemerkung hinsichtlich des Trends zur Internationalisierung bzw. Globalisierung erlaubt. Die Kombination aus „Technik und Technik“, wie dies bei einer Vielzahl unserer fachverwandten Ingenieurkollegen der Fall ist, bezieht sich in der Regel auf technische Grundlagen und Problemlösungen, die eben überall (global) gleich sind, wenn man Normen und technische Vorschriften außer Acht lässt.

Die Kombination aus „Technik und Recht“ hingegen, wie dies typisch für den Beruf des Geodäten ist, ist nicht der Internationalisierung unterworfen (- weil Bodenrecht stets an Landesgesetze gebunden ist -) und beinhaltet somit eine wertvolle Chance für eine günstige Entwicklung dieses Berufsstandes.

Es ist Aufgabe jedes einzelnen Vermessungsingenieurs bei passender Gelegenheit auf diesen Umstand hinzuweisen, dass das geodätische Berufsbild vielfach aus einer Verflechtung von technischen und rechtlichen Aspekten besteht und sich somit der Globalisierung entzieht.

Insgesamt müssen sich Vermessungsingenieure bewusst sein, dass alle Facetten des Berufs-, Freizeit- und Privatlebens unserer Gesellschaft auf der Grundlage einer geodätischen Ordnung von Grund und Boden aufbauen. Wir haben berechtigten Grund auf unsere Tätigkeit, als Verwalter von Grund und Boden, stolz zu sein und selbstbewusst die Vielfalt unseres Berufes zu nutzen. Dazu gehört es, alte Tätigkeitsfelder und Werkzeuge auf neue Entwicklungen anzupassen und sich neue Berufsfelder zu erschließen. Der freiberufliche Vermessungsingenieur ist Partner von Bund, Ländern, Gemeinden, der Bürger und NGO's; er handelt sowohl im öffentlichen Auftrag, als auch zur Wahrung privater Interessen.

Die hier zitierten Geodäten haben in Bad Ragatz der anwesenden Kollegenschaft Mut zugesprochen und sie aufgefordert, sämtliche mit geographischem Bezug bietenden Aufgaben anzupacken und sich nicht nur auf die Erfüllung von „hoheitlichen“ d.h. katastralen Aufgaben zu beschränken.

*Dieter Kollenprat*

<sup>3)</sup> Die Studienpläne wurden mehrfach adaptiert und der technischen Entwicklung angepasst; ebenso gab es in den Studienplänen stets auch Wahlfächer, welche von den Studierenden individuell belegt wurden. Soin wird der Berechtigungsumfang auch für jeden Einzelnen individuell zu beurteilen sein.

## EUREF Symposium VIENNA 2005

Das Symposium der IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe (EUREF) wurde heuer in Wien vom 1. bis 4. Juni in den festlichen Räumlichkeiten der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) abgehalten. Die Mitglieder der EUREF Technical Working Group (TWG) hatten ihr Meeting am 31. Mai im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV).

Das Organisationsteam der ÖAW / Institut für Weltraumforschung (IWF) unter Leitung von Dr. Peter Pesec konnte sich gemeinsam mit den Mitarbeitern der Abteilungen Grundlagen und Internationale Angelegenheiten des BEV, die bei der Organisation des Symposiums tatkräftig mitwirkten, über eine hohe Besucheranzahl (ca. 130) aus den Reihen der EUREF-Experten, -Anwender und -Interessierten freuen.

In diesem seit 1990 jährlich stattfindenden Zusammentreffen werden aktuelle EUREF Aktivitäten der europäischen Länder präsentiert, diskutiert und abschließend Resolutionen für die weitere Vorgehensweise erstellt. Die Zielsetzung von EUREF besteht darin, die Europäischen Referenzsysteme zu definieren, realisieren und zu erhalten, in Kooperation sowohl mit den IAG-Kommissionen und -Services als auch mit EuroGeographics.

Thematische Schwerpunkte der Präsentationen waren u.a.: Projekte und Analysen rund um das EUREF Permanent Netzwerk (EPN), Antennenkalibrierungen und -tests, GPS-Permanentstationsnetze, Zeitreihen, Stationsgeschwindigkeiten, Deformationsuntersuchungen in Zusammenhang mit Erdbeben, die ETRS89-Realisierung, GPS und Meteorologie, GPS/GNSS-Echtzeitpositionierungsdienste, Homogenisierung im Festpunktfeld, das European Combined Geodetic Network (ECGN), Aktivitäten der Expert Group on Geodesy (ExGG) als Schnittstelle zu EuroGeographics, Höhensysteme und Gravimetrie. Eine der Präsentationen hatte z.B. die Analyse von Oberflächendeformationen in Deutschland mittels GPS infolge der Auswirkungen der Tsunami-Katastrophe vom 26. Dezember 2004 zum Thema. Abgerundet wurde das Symposium durch die Präsentationen der einzelnen Ländervertreter in Form der National Reports.

Der internationale Trend, in vielen Staaten flächendeckende GPS- bzw. GNSS-Referenzstationsnetze für die Echtzeitpositionierung errichten zu wollen, erscheint ungebrochen. Die Mehrheit der Berichterstatter gab an dieses Ziel 2006 oder 2007 erreichen zu wollen.

In den als Ergebnis dieses Symposiums verfassten Resolutionen wurde festgehalten, dass seitens EUREF verstärkt auf individuelle Antennenkalibrierungen auf den Permanentstationen Wert gelegt wird, da hier bessere Resultate erzielt werden. Die Einführung verbesserter Standards liegt allerdings beim International GPS Service (IGS) und wird diesem somit nahegelegt. Weiters soll der Datenfluss innerhalb des EPN verbessert werden. Beiträge der nationalen Vermessungsbehörden in ECGN und in Unified European Levelling Network (UELN) Projekten wurden anerkannt und sollten in eine

neue Realisierung des European Vertical Reference Systems (EVRS) münden. Damit verbunden wäre aber auch die kostenlose Bereitstellung der Daten sowie der Meta-Daten Informationen durch die Betreiber absoluter Gravimeter, die im Projekt ECGN zum Einsatz gekommen sind und noch kommen werden.

NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) ist mittlerweile ein RTCM-Standard geworden, der den GPS/GNSS Datenstrom (Rohdaten und Korrekturdaten) in Echtzeit über IP-Netze, d.h. das Internet, ermöglicht. Da die Nachfrage an Echtzeitverfügbarkeit von GPS/GNSS-Daten u.a. für die Bestimmung der Satelliten-Orbits und -Uhren, der Atmosphäreneinflüsse und Monitoring von Erdbeben etc. ständig im Steigen begriffen ist, werden die Mitgliedsländer aufgefordert, diese Aktivitäten zu unterstützen (Projekt EUREF-IP) indem z.B. die Daten der EPN-Stationen über Internet an die Datenzentren übermittelt werden.

In den Resolutionen wird weiters betont, dass ETRS89 als das Europäische Referenzsystem für Georeferenzierung empfohlen wird.

Verdientermaßen wird im letzten Punkt der Resolutionen dem Organisationskomitee rund um den Hauptorganisator Dr. Peter Pesec (ÖAW / IWF), der ÖAW und dem BEV für die Organisation und den exzellenten Arrangements gedankt, wodurch ein erfolgreiches Meeting ermöglicht wurde.

### Weitere Informationen unter:

[www.euref-iag.net/html/symposia.html](http://www.euref-iag.net/html/symposia.html)

<http://euref2005.oew.ac.at>

*Ernst Zahn*

## Goldenes Doktordiplom – Goldenes Ingenieursdiplom

Die OVG erlaubt sich darauf hinzuweisen, dass an den Technischen Universitäten Graz und Wien aus Anlass der 50. Wiederkehr des Tages der Promotion/Ablegung der II. Staatsprüfung ein Antrag auf die erneute Verleihung des akademischen Grades durch Verleihung des Goldenen Doktordiploms/Ingenieursdiploms gestellt werden kann.

An der Technischen Universität Wien kann das dafür benötigte Antragsformular beim Büro des Rektors/ Zentrale Verwaltung beantragt werden. Darin sind die Voraussetzungen für die Verleihung angeführt. Absolventen der TU Graz wenden sich bitte an die alumniTUGraz 1887 oder das Dekanat der Technischen Universität. In einem schriftlichen beruflichen Lebenslauf ist zu begründen, warum die erneute Verleihung vorgenommen werden soll (enge Verbundenheit mit der Technischen Universität, wissenschaftliche Verdienste oder hervorragendes berufliches Wirken).

**Im Internet finden sie weitere Informationen unter**  
TU-Graz:

<http://alumni.tugraz.at/verein/goldenesdiplom.html>

TU-Wien:

[www.tuwien.ac.at/ZV/LEIT/Goldenes\\_Diplom.rtf](http://www.tuwien.ac.at/ZV/LEIT/Goldenes_Diplom.rtf)

## Persönliches



### 70. Geburtstag von Ehrenpräsident Dipl.-Ing. Friedrich Hrbek

Im Mai dieses Jahres feierte Ehrenpräsident Dipl.-Ing. Friedrich Hrbek ein ganz besonderes Jubiläum, seinen 70. Geburtstag.

Dies wurde von der OVG – Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation sowie vom BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zum Anlass genommen, den Jubilar entsprechend zu würdigen.

Am Vormittag des 24. Mai 2005 wurde BEV-Altpräsident Dipl.-Ing. Hrbek im Kreise der leitenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BEV beglückwünscht, am Nachmittag tat dies der Vorstand der OVG im Anschluss an eine Vorstandssitzung.

Im Mittelpunkt der Würdigung standen die besonderen Leistungen der Persönlichkeit des Jubilars.

Ein kurzer erinnernder Blick auf den beeindruckenden Lebenslauf von Altpräsident Dipl.-Ing. Friedrich Hrbek macht dies deutlich:

Altpräsident Hrbek wurde am 21. Mai 1935 in Wien geboren, legte am 19. Juni 1953 an der Bundesrealschule Wien 11 die Reifeprüfung ab und inskribierte an der Fakultät für Naturwissenschaften der Technischen Universität Wien die Studienrichtung Vermessungswesen. Der erfolgreiche Abschluss seines Studiums erfolgte am 18. Dezember 1959.



Ehrenpräsidenten Dipl.-Ing. F. Hrbek und Dipl.-Ing. A. Hochwartner



Ehrenpräsident Dipl.-Ing. F. Hrbek und OVG-Präsident Dipl.-Ing. G. Steinkellner

Am 29. Dezember 1959 trat Dipl.-Ing. Friedrich Hrbek den Dienst beim Vermessungsamt Korneuburg an und wurde schon im Jahre 1961 mit der Leitung dieses Vermessungsamtes betraut.

Am 1. Oktober 1967 erfolgte seine Versetzung zur Abteilung Planung, Organisation und Verwaltung, in der Dipl.-Ing. Hrbek seine profunden Kenntnisse bei der Führung des Katasters und dessen Regelung durch Rechtsvorschriften umsetzen konnte.

Auf Grund der hohen Fachkenntnisse auf dem Gebiet des Katasterwesens wechselte Dipl.-Ing. Hrbek im Jahre 1971 zum damaligen Bundesministerium für Bauten und Technik, kehrte aber bereits vier Jahre später als Vermessungsinspektor für Wien, Niederösterreich und Burgenland in das BEV zurück.

Im Jahre 1978 wurde er zum Leiter der Abteilung Planung, Organisation und Verwaltung bestellt und schließlich im Jahr 1982 mit der Leitung der Gruppe Kataster, Grundlagenvermessung, Staatsgrenzen betraut.

Die dienstliche Laufbahn erreichte mit der Ernennung zum Vizepräsidenten des BEV am 1. Jänner 1983 ihren ersten Höhepunkt.

Die Krönung seiner Tätigkeit erreichte Dipl.-Ing. Hrbek schließlich mit der Bestellung zum Leiter des BEV am 1. Jänner 1987, eine Funktion die er mit großem Verantwortungsbewusstsein, Einsatzfreudigkeit, Zielstrebigkeit und hohem Fachwissen ausgeübt hat.

Aufgrund der erwähnten Eigenschaften war es Altpräsident Hrbek möglich, den Dienst an Österreich und seiner Gesellschaft als eine große ausfüllende Aufgabe zu betrachten.



*Obmann der Bundesfachgruppe Vermessungswesen  
Dipl.-Ing. H. Polly*

Gerade rechtzeitig kam der Innovationsschub in Form neuer Technologien, der es ermöglichte, schwebende Vorstellungen von Dienstleistungen einer modernen Verwaltung zu realisieren. Das rechtzeitige Erkennen, die Einführung und Umsetzung moderner Methoden und Techniken waren der große Verdienst von Altpräsident Hrbek.

Beispiele dafür sind das Maß- und Eichgesetz, die Zuerkennung der Rechtspersönlichkeit für den Physikalisch-technischen Prüfdienst, die Entwicklung von Verfahren im Bereich Radioaktivitätsmessungen, die Einführung von Maßnahmen für die Fertigpackungskontrolle, die Einrichtung von Datenbanken für den Kataster als Informationssystem, die Einführung räumlicher Bezugssysteme hoher Genauigkeit und der Aufbau einer digitalen topographischen und kartographischen Infrastruktur Österreichs.

Diese Entwicklungen sind natürlich im internationalen Umfeld nicht unentdeckt geblieben, sodass die Bemühungen um die Koordinierung des Kartenwesens und des Katasters auf europäischer Ebene letztlich zur Übertragung des Vorsizes im CERCO (dem Europäischen Komitee der Leiter der staatlichen kartographischen Institute), dem Vorläufer der heutigen „Euro-Geographics“ führte. Auch in dieser Funktion hat Altpräsident Hrbek kraft seines Fachwissens und Verhandlungsgeschickes die führende Rolle Österreichs unterstrichen und in dieser bedeutenden europäischen Organisation neue Impulse gesetzt. Auch in einem anderen Bereich europäischer Zusammenarbeit, nämlich der OEEPE (der Europäischen Organisation für experimentelle photogrammetrische Forschung), heute „EuroSDR – European Spatial Data Research“, hat Altpräsident Hrbek durch seine Unterstützung von Projekten zukunftsweisende Impulse gesetzt.

Besondere Anerkennung verdienen seine Aktivitäten zur Unterstützung der Staaten im ehemaligen Ostblock durch Wissenstransfer und Beratungen beim Aufbau moderner Bodeninformationssysteme als eine der Voraussetzungen für die Einführung der Marktwirtschaft.

Die großartigen Leistungen von Altpräsident Hrbek erhielten auch die nötige äußere Anerkennung durch die Verleihung hoher und höchster Ehrenzeichen des Bundes, von Ländern und Städten sowie durch die Verleihung der Ehrenbürgerschaft der Universität für Bodenkultur. Altpräsident Hrbek wurde aber auch mit der Ehrenpräsidentschaft der OVG ausgezeichnet. Ihm kommt das Verdienst zu, das österreichische Vermessungswesen durch die erfolgreiche Zusammenführung des ehemaligen österreichischen Vereines für Vermessungswesen und der ehemaligen österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie zu seinerzeitigen österreichischen Verein für Vermessungswesen und Photogrammetrie in seiner Wirkung und seinem Selbstbewusstsein entscheidend gestärkt zu haben. Auch als Gründungspräsident dieses neuen Fachkreises war ihm internationale und innerösterreichische Zusammenarbeit ein großes Anliegen. Stets suchte er den Kontakt zur Kollegenschaft der freien Berufe und der hohen Schulen sowie zu Fachverbänden im internationalen Umfeld.

Der erste österreichische Geodätentag 1982 in Wien gemeinsam mit dem DVW – Deutscher Verein für Vermessungswesen war ein für alle sichtbarer Erfolg seiner Bestrebungen.

Auch heute noch ist er engagierter und initiativer Teilnehmer an den Vorstandssitzungen der OVG. Ungebrochen gilt sein Interesse der Zukunft des österreichischen Vermessungswesens.

Die beiden Geburtstagsfeiern am 24. Mai 2005 gaben dem BEV und der OVG die Möglichkeit, sich mit dem Jubilar an gemeinsam Erlebtes und Erreichtes zu erinnern und ihm zu seinem 70. Geburtstag herzlichst zu gratulieren.

*August Hochwartner*



*AG-Obmann Dipl.-Ing. J. Ernst und Ehrenpräsident  
Dipl.-Ing. F. Hrbek*



## **Delegierte zu den Kommissionen der FIG**

Wir freuen uns, den mit Juli 2005 aktualisierten Stand bekannt zu geben:

### COMMISSION 1 – PROFESSIONAL STANDARDS & PRACTICE

**Baurat h.c. Dipl.Ing. Manfred Eckharter, Wien**

### COMMISSION 2 – PROFESSIONAL EDUCATION

**Dipl.-Ing. Gert Steinkellner, Wien**

### COMMISSION 3 – SPATIAL INFORMATION MANAGEMENT

**Dipl.-Ing. Gerhard Muggenhuber, Chair of Commission 3, Wien**

**Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Reinfried Mansberger, Vice-Chair of Commission 3, Wien**

### COMMISSION 4 – HYDROGRAPHY

**Dr. Herbert Döllner, Waidhofen/Thaya**

### COMMISSION 5 – POSITIONING AND MEASUREMENT

**Univ.Ass. Dr.-Ing. Andreas Eichhorn, Wien**

### COMMISSION 6 – ENGINEERING SURVEYS

**Prof. Dr. Fritz K. Brunner, Chair of Task Force 6.4.1 Fibre Optic Sensors, Graz**

### COMMISSION 7 – CADASTRE & LAND MANAGEMENT

**Dipl.-Ing. Gerda Schennach, Commission representative in joint Commission 5 & 7 task force on Low Cost Surveying Technology and Techniques for Developing Countries, Innsbruck**

### COMMISSION 8 – SPATIAL PLANNING & DEVELOPMENT

**Dipl.-Ing. Peter Belada, Wien**

### COMMISSION 9 – VALUATION AND THE MANAGEMENT OF REAL ESTATE

**Dipl.-Ing. Mag. Bernhard Futter, Graz**

### COMMISSION 10 - CONSTRUCTION ECONOMICS AND MANAGEMENT

**unbesetzt**

# 9. Österreichischer Geodätentag

Kongress für Vermessung  
und Geoinformation

3. - 5. Mai 2006

Donau-Universität Krems  
Krems an der Donau



*Geoda(e)ten*

*verbinden ....*

## Information und Anmeldung:

Dipl.- Ing. Kurt Holler

Tel.: +43-(0)2742-363044-13

Fax: +43-(0)2742-363044-48

E-Mail: [ogt2006@ovg.at](mailto:ogt2006@ovg.at)

Internet: <http://ogt2006.ovg.at>

Adresse: Praterstraße 37

3100 St. Pölten / Austria



**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](http://www.trimble.de)



*Technology Solutions for  
the Right Place and Time*

[www.trimble.de](http://www.trimble.de)