Heft 60-2
Neubiberg, 2000

25 Jahre
Institut für Geodäsie

Teil 2
Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen

Herausgegeben von
W. Caspary
H. Heister
A. Schödlbauer
W. Welsch

SCHRIFTENREIHE

STUDIENGANG GEODÄSIE UND GEOINFORMATION
UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN

20080707 027

AQ F08-10-09561

Der Druck dieses Heftes wurde aus Haushaltsmitteln der Universität der Bundeswehr München gefördert.

Auflagenhöhe: 500

Herausgaber der Schriftenreihe:

Studiengang Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München

Bezugsnachweis:

Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
Studiengang Geodäsie und Geoinformation
Werner-Heisenberg-Weg 39
D - 85577 Neubiberg

ISSN 0173 - 1009

REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved OMB No. 0704-0188

Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.

1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)	2. REPORT DATE	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED
	2000	Report

4. TITLE AND SUBTITLE

25 Jahre Institut für Geodasie -- Teil 2 Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen

(25 years Institute of Geodesy -- Part 2, research and publications)

5. FUNDING NUMBERS

6. AUTHOR(S)

7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

UNIBW

8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER

9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES

Universität für der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
D-85577 Neubiberg GERMANY

10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER

Heft 60-2, Neubiberg, 2000

11. SUPPLEMENTARY NOTES

Text in German, 112 pages.

12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT

Public release. Copyrighted. (1 and 20)

12b. DISTRIBUTION CODE

ABSTRACT (Maximum 200 words)

Modem sensors and data processing capabilities enable the observation of time dependent deformations of objects by continuous measurements. The resulting time series are analyzed using statistical methods in order to model the deformation as a function of time, to detect cause-effect mechanisms and to predict the future behavior of the object.

The statistical analysis in the time domain leads to a separation of deterministic and stochastic deformations. A polynom superimposed with cyclic effects is frequently used to model the deterministic trend. Linear filters can be employed to suppress the stochastic component or to eliminate the trend.

The transformation of the time series into the frequency domain facilitates the detection of cyclic effects. The stochastic structure of the time series is modelled by estimated auto-covariances and ARMA-models.

An example for deformation measurements is used to demonstrate the steps of the analysis and to underline the fact, that because of spurious observations robust methods of parameter estimation are required.

Part 2 reports in due shortly on the main research activities of the Institute and contains a complete overview of all publications,

Machine assisted translation.

14. SUBJECT TERMS

UNIBW, German, Sensors, Data processing, Deformation measurements, Statistical methods, Statistical analysis, Science community

15. NUMBER OF PAGES

16. PRICE CODE

17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT	20. LIMITATION OF ABSTRACT
UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED	UNCLASSIFIED	UL

Vorwort

Das Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München besteht seit über 25 Jahren. Es entwickelte sich aus der Zusammenarbeit der vier Professoren, die in den Jahren von 1973 bis 1976 berufen wurden für

Allgemeine Geodäsie: Albert Schödlbauer (1973)
Astronomische und Physikalische Geodäsie: Erik Grafarend (1975)
Ingenieurgeodäsie: Wilhelm Caspary (1975)
Vermessungskunde: Walter Welsch (1976).

Zur Unterstützung der Forschung und Lehre wurde das Geodätische Labor eingerichtet und zu seinem Leiter

Hans Heister (1974)

bestellt.
Nach der Berufung Prof. Grafarends an die Universität Stuttgart richtete sein Nachfolger ab 1981 mit dem Institut für Erdmessung und Navigation eine neue, aus dem Institut für Geodäsie herausgelöste Organisationseinheit ein.
Die drei verbliebenen Professoren können auf eine lange und erfolgreiche kollegiale Zusammenarbeit zurückblicken. Da sie nunmehr innerhalb eines Zeitraumes von 2½ Jahren aus dem aktiven Dienst ausscheiden, haben sie die Veröffentlichung der vorliegenden Denkschrift beschlossen, um die in den zurückliegenden 25 Jahren geleisteten Arbeiten zu dokumentieren. Die Schrift ist so konzipiert, dass neben der Wissenschaft auch Aspekte des Institutslebens zur Sprache kommen. Auf eine Darstellung der Beiträge der Institutsmitglieder zur Gestaltung und Durchführung der Lehre und auf eine Dokumentation der vielfältigen Aufgaben, die in der akademischen Selbstverwaltung und in nationalen und internationalen Gremien übernommen wurden, wird hier verzichtet, da sie als selbstverständliche Aufgaben eines Universitätsinstituts angesehen werden. Näheres kann auch den seit 1977 regelmäßig erschienenen und von der Deutschen Geodätischen Kommission veröffentlichten Jahresberichten entnommen werden.
Die vorliegende Schrift besteht aus drei thematisch unterschiedlichen Teilen:

Teil 1 enthält eine Sammlung wissenschaftlicher Beiträge und Berichte, zu der diejenigen beigetragen haben, die dem Institut in den vergangenen 25 Jahren angehört haben oder noch angehören,
Teil 2 berichtet in gebotener Kürze über die wesentlichen Forschungsaktivitäten des Instituts und enthält eine vollständige Übersicht aller Veröffentlichungen,
Teil 3 ist ein Beitrag, der nicht unmittelbar der Wissenschaft gewidmet ist, sondern eher in einzelnen Schlaglichtern die Umstände aufzeigt, die die wissenschaftliche Arbeit und das Gemeinschaftsleben der Institutsangehörigen begleiteten.

Das Institut, das das jüngste aller geodätischen Institute Deutschlands ist, blickt mit einigem Stolz auf das zurück, was seine Angehörigen in den vergangenen 25 Jahren geleistet haben.

Neubiberg, im Jahre 2000 — Die Herausgeber

Vorwort zum zweiten Teil

Während der Teil 1 der Schrift Aufsätze über aktuelle Forschungsthemen der derzeitigen und früheren Mitglieder des Instituts für Geodäsie enthält, gibt dieser Teil 2 einen Überblick über die Forschungsarbeiten am Institut seit der Gründung vor über 25 Jahren.
Den größten Raum nehmen Kurzberichte über Arbeiten an Forschungsschwerpunkten ein. Die selbstgewählten Themen haben die Institutsmitglieder, teilweise in Kooperation, über längere Zeiträume beschäftigt. Sie zeigen einerseits die Breite der Forschungsinteressen, die von instrumentellen Entwicklungen über Mess- und Auswertemethoden bis zu rein theoretischen Arbeiten reichen. Andererseits spiegeln sie die Weiterentwicklung des Wissenschaftsgebietes wider, die gerade in den zurückliegenden Jahrzehnten mit hoher Geschwindigkeit stattfand. Die Berichte tragen die Handschrift der jeweiligen Autoren, geben aber insgesamt wohl einen geschlossenen Eindruck von den wissenschaftlichen Aktivitäten im Institut.
Ein Teil der wesentlichen Forschungsergebnisse ist Gegenstand von Dissertationen geworden, die von Wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts verfasst worden sind. Kurzfassungen dieser Arbeiten bilden in chronologischer Reihenfolge den zweiten Teil dieses Heftes.
Kleinere Forschungsvorhaben, über die in diesem Teil des Heftes nicht explizit berichtet wird, sind in den Veröffentlichungen dokumentiert, die detailliert und vollständig über alle Ergebnisse der Forschungsarbeiten informieren. Die chronologische Zusammenstellung der wissenschaftlichen Publikationen der Institutsangehörigen im Berichtszeitraum wird ergänzt durch eine Liste der größeren Veranstaltungen, Seminare und Symposien, die am Institut durchgeführt wurden.
Über diese damit dokumentierten Arbeiten hinaus traten die Institutsmitglieder auf zahlreichen nationalen und internationalen Kongressen und als Gastvortragende an vielen wissenschaftlichen Institutionen auf. Einen Eindruck von dieser regen Tätigkeit gibt der Abschnitt "Die Welt aus der Sicht des geodätischen Instituts" im Teil 3 dieser Schrift.

Inhaltsverzeichnis

Forschungsschwerpunkte 1

Rechenverfahren in der Landesvermessung 3
Geodätische Bezugssysteme 3
Deformationsmessungen und –analysen 4
Nordsuchende Kreisel 5
Testnetze 7
Satelliten-Doppler-Messungen 11
Kalibrierverfahren 12
Glazialgeodäsie 14
Industrievermessung 16
Robuste Schätzverfahren 17
GPS in der Landesvermessung 19
Inertiale Positions- und Richtungsbestimmung 22
Ausgleichung heterogener Beobachtungen 24
Automatisiertes Nivellement 25
Großräumige Trassierung 28
Rezente Krustenbewegungen, Geotechnische Phänomene 29
Automatisiertes Alignement 31
Geoinformationssysteme 33
GPS in der Ingenieurvermessung 35
GPS-Nivellement 37
Kinematische Messverfahren 41
Neue Konzepte der Geodätischen Astronomie 43

Habilitation und Dissertationen 45

H. Heister
Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmessinstrumente, (Habilitationsschrift), *1988* 47

A. Geiger
Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente, *1982* 49

P. Schwintzer
Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen, *1984* 50

W. Ellmer
Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches, *1987* 51

H. Glasmacher
Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren, *1987* 53

Z. Yan
Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze, *1987* 54

W. Lechner
Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung, *1988* 55

R. König
Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen, *1988* 57

N. Kersting
Zur Analyse rezenter Krustenbewegungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen, *1992* 58

W. Oswald
Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen, *1992* 60

R. Scheuring
Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen, *1995* 62

J. Wang
Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung, *1997* 62

G. Chen
Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich, *1996* 65

T. Sutor
Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich, *1997* 67

D. Zhong
Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze, *1997* 68

G. Joos
Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten, *2000* 70

H. Sternberg
Zur Bestimmung der Trajektorie von Landfahrzeugen mit einem hybriden Messsystem, *2000* 72

R. Hollmann
Untersuchungen von GPS-Beobachtungen für kleinräumige Netze, *2000* 74

Seminare, Weiterbildungsveranstaltungen und Workshops 77

Veröffentlichungen 83

Forschungsschwerpunkte

Rechenverfahren in der Landesvermessung

Einer der Schwerpunkte der zur Lösung von Aufgaben der Landesvermessung geleisteten Arbeiten lag in der Weiterentwicklung der Rechenverfahren zur Koordinatenberechnung auf Bezugsellipsoiden und in der Gaußschen Abbildungsebene. Die bearbeiteten Themen lassen sich wie folgt gliedern.

- Weiterentwicklung der Potenzreihen zur Koordinatenübertragung unter Einsatz formaler, rechnergestützter Algorithmen (*Krack, 1980; 1982/2; 1982/3; 1998*; *Glasmacher, Krack, 1984*).
- Vereinfachung der Potenzreihen zur Koordinatenübertragung auf Bezugsellipsoiden (Erste und zweite geodätische Grundaufgabe) durch Substitution der sphärischen Anteile der Potenzreihen durch strenge Formeln der sphärischen Trigonometrie (*Schödlbauer, 1979; 1980/1; 1980/2; 1981/2*).
- Vereinfachung der in der Gaußschen Abbildung verwendeten Transformationsalgorithmen durch Nutzung der komplexen Arithmetik und numerischer Integrationsverfahren (*Glasmacher, 1987*) sowie durch Zurückführung der Ellipsoidabbildung auf die transversale Mercatorprojektion der Kugel (*Schödlbauer, 1981/1; 1982/1; 1982/2*).
- Transformationsalgorithmen zur Überführung geodätischer Koordinaten in verschiedene anwendungsbezogene Darstellungsformen: Geographische, Gaußsche, geozentrisch-cartesische, topozentrisch-cartesische Koordinaten, Meridianbogenlänge (*Krack, 1981; 1982/1; Schödlbauer, 1984/2; 1985/1; 1985/2; 1993/1*).
- Lösung geodätischer Standardaufgaben (»Dreizehn Aufgaben aus der Landesvermessung ...«) mit Verfahren der Computer-Algebra (*Krack, 1999*).
- Transformationsalgorithmen zur Verknüpfung von Netzen unterschiedlichen geodätischen Ursprungs (*Glasmacher, Krack, 1984; Krack, Schödlbauer, 1984; Schödlbauer, 1982/1; 1984/2; Scherer, 1993*).
- Gesamtdarstellungen der status-quo-Rechenverfahren (*Schödlbauer, 1981/2; 1982/1; 1984/1; 1984/3*)

Geodätische Bezugssysteme

Vor der Einführung von Raumverfahren in die Landesvermessung spielte die Frage der Bezugssysteme keine für die Praxis bedeutsame Rolle. In Deutschland benutzte man als Träger eines Bezugssystems für zivile Vermessungsaufgaben das auf dem Bessel-Ellipsoid gelagerte Deutsche Hauptdreiecksnetz (DHDN) mit Datum Rauenberg (»Potsdam Datum«) und für die Aufgaben der NATO das auf dem Internationalen Ellipsoid ausgebreitete Zentraleuropäischen Dreiecksnetz mit »Europäischem Datum«. Daneben musste im zivilen Bereich in vielen Einzelprojekten immer noch auf die alten, im 19. Jahrhundert installierten Bezugssysteme zurückgegriffen werden, in Bayern z.B. auf das sphärische Soldner-System. Die Beziehungen der genannten Bezugssysteme untereinander konnten nur durch empirische, nur im lokalen Bereichen gültige Transformationsformeln beschrieben werden (*Schödlbauer, 1981/1, 1982/1, 1984/1*).
Mit der Einführung der geodätischen Raumverfahren und inertialer Vermessungsverfahren hat sich die Situation grundlegend gewandelt. Neben die terrestrischen Bezugssysteme – realisiert durch eine Auswahl vermarkter Festpunkte (»Bezugsrahmen«) – sind als Träger geodätischer Positions- und Richtungsinformationen mehr und mehr Felder ausserterrestrischer »Festpunkte« getreten, mit denen die terrestrischen Bezugssysteme durch Permanentbeobachtungen des Internationalen Erdrotationsdienstes (IERS) und zahlreicher systemspezifischer Beobachtungsruppen (NNSS, GPS, SLR, VLBI) verbunden sind. Damit sind die Kinematik und Mechanik der Himmelskörper (Eigenbewegungen der Fixsterne, Präzession und Nutation der

Rotationsachse der Erde), ihre veränderliche Perspektive (Parallaxe, Aberration und Doppler-Effekt), die Bahnbewegungen künstlicher Erdsatelliten und die Dynamik der Erde (Polbewegung) zu geodätisch bedeutsamen Parametern geworden, die bei der Lösung geodätischer Aufgaben in Rechnung gestellt werden müssen.
Gegenstand der Untersuchungen waren insbesondere die Transformationsalgorithmen zwischen Inertialsystemen und erdfesten Bezugssystemen (*Schödlbauer, 1985/2, 1985/3, 1985/4, 1987, 1991/1, 2000*), wobei neben der Transformation von Positionen auch die für Inertialsysteme bedeutsamen Transformationen von deren Änderungsraten (Geschwindigkeiten und Beschleunigungen) untersucht wurden .

Deformationsmessungen und –analysen

Die geodätische Erfassung der Bewegungen und Verformungen, kurz der Deformationen eines Messobjekts ist einer der Aufgabenbereiche der Ingenieurvermessung. Objekte sind u.a. Bauwerke, Verkehrs-, Maschinen- und Industrieanlagen, sowie natürliche Objekte wie rutschgefährdete Hänge, Gletscher oder auch die Erdkruste. Neben der messtechnischen Erfassung von Deformationen ist die Modellbildung zur Analyse der gewonnenen Daten wesentlicher Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses. Nach dem heutigen Verständnis der Ingenieurvermessung geht die Analyse über eine rein beschreibende Darstellung hinaus. Die Ergebnisse von Deformationsuntersuchungen sollen vielmehr in den größeren Zusammenhang der Analyse ingenieur- und naturwissenschaftlicher Phänomene eingebettet werden.
Die traditionelle Vorgehensweise ist die einer statistisch abgesicherten Aufdeckung von Bewegungen der durch ein geodätisches Überwachungsnetz erfassten charakteristischen Punkte eines Objekts im Kongruenzmodell, sowie die beschreibend interpretierende Generalisierung der ermittelten Punktbewegungen. In kinematischen Modellen werden die Deformationen analysiert, die einem Bewegungsgesetz folgen. Die über eine zeitabhängige Beschreibung aufgetretener Deformationen hinausgehende Analyse, erfordert Modelle, die den gesamten, aus verursachenden Faktoren, Übertragungsverhalten des Objekts und den resultierenden Deformationen bestehenden Prozess berücksichtigen.
Grundlage jeder Analyse ist ein Globaltest, der zu der Aussage führt, ob überhaupt Deformationen an einem Objekt aufgetreten sind. In einem zweiten Schritt ist die Lokalisierung der Deformationen durch eine individuelle Bewertung der an den Messpunkten aufgetretenen Klaffungen zwischen Bezugs- und Folgeepoche durch eine sog. Klaffungszerlegung erforderlich. Das klassische Verfahren hierzu ist das GAUß'sche Eliminationsverfahren. Eine alternative Vorgehensweise mit Hilfe einer automatisierten Klaffungszerlegung nach CHOLESKY wurde von *Caspary und Schwintzer* (*1981*) entwickelt. Bei beiden Verfahren ist die Beachtung des geodätischen Datums erforderlich. Dieses Problem entfällt, wenn die Klaffungen mit Hilfe invarianter Elemente zerlegt werden (*Welsch*, 1983). Eine Erweiterung dieser Methoden stellen gemischte Modelle dar (*Schwintzer*, 1984), bei denen der im üblichen GAUß-MARKOV-Modell auftretende Fehlervektor durch eine Linearkombination unbekannter Zufallsparameter ersetzt wird. Treten in geodätischen Überwachungsnetzen Verformungen auf, ist es häufig günstig, zu einer generalisierenden Aussage zu kommen. Die allgemeine Verfahrensweise ist eine Approximation des Deformationsfeldes durch Polynome, unter denen diejenigen, die Blockbewegungen oder affine Verformungen beschreiben, eine spezielle Rolle spielen (*Welsch, 1981*).
Alle bisher dargestellten Verfahren und Entwicklungen bedienen sich des GAUß-MARKOV-Modells. Alternative Verfahren zur Parameterschätzung und zur Einzelpunktdiagnose führen jedoch in manchen Fällen zu Ergebnissen, die die Realität genauer abbilden. Unter diesen sog. robusten Verfahren nehmen die L_1-Normschätzer eine besondere Rolle ein; bei ihnen wird die Summe und nicht wie bei der Methode der kleinsten Quadrate die Quadratsumme der Verbesserungen minimiert. Die Eigenschaft der Resistenz führt dazu, dass eine auf der L_1-Norm be-

ruhende Ähnlichkeitstransformation zur Kongruenzuntersuchung von Vergleichsnetzen durch Einzelpunktbewegungen kaum beeinflusst wird (*Caspary, 1984*). *Caspary und Borutta (1987)* erweitern die Untersuchungen und vergleichen verschiedene robuste Schätzmethoden in Anwendung auf Blockbewegungen und affine Verzerrungen. Modifikationen der gebräuchlichen robusten Schätzverfahren führen auch zur Unabhängigkeit der Ergebnisse vom geodätischen Bezugssystem (*Caspary et al., 1990*). Im übrigen sei auf die Arbeiten im Forschungsschwerpunkt „Robuste Schätzverfahren" verwiesen.
Im Bereich der auf Zeitreihen beruhenden Deformationsuntersuchungen sind zwei von CASPARY und HEISTER durchgeführte Projekte zu erwähnen. Das eine beschäftigte sich mit der Überwachung der Fundamente einer Maschinenhalle, die über vier Monate hinweg mit einem vollautomatischen Tachymetersystem durchgeführt wurde. Das zweite setzte ein modifiziertes Laseralignement ein, um die Auswirkung der durch Wind und von Flugzeugen verursachten Druckwellen auf die Dachkonstruktion eines historischen Gebäudes zu erfassen. Da beide Untersuchungen zu keinen signifikanten Ergebnissen führten, unterblieben Veröffentlichungen. - Einige Aspekte der Auswertung wiederholt ausgeführter Beobachtungen zur Interpretation von Geschwindigkeits- und Verformungsfeldern in kinematischen Modellen werden von *Welsch (1986)* diskutiert.
Im Bereich der Auswertung von Überwachungsmessungen in dynamischen Modellen sind zwei Modellgruppen zu unterscheiden. Einerseits führt die Einbeziehung des Faktors Zeit zur Unterscheidung in statische und eigentlich dynamische Modelle, andererseits ist die Möglichkeit, das Übertragungsverhalten eines Objekts mathematisch-physikalisch beschreiben zu können, ausschlaggebend dafür, ob die Auswertung in parametrischen oder nicht-parametrischen Modellen erfolgt. *Ellmer (1987)* untersucht in einem nicht-parametrischen dynamischen Modell die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Stützenlängen eines Großturbinentisches. Ein statisches parametrisches Modell wird hingegen von KERSTING (1992) verwendet, um mit Hilfe der Dislokationstheorie aus geodätisch ermittelten Verformungen der Erdoberfläche die Herdflächenlösung eines Erdbebens zu finden. Die Untersuchungen der Reaktion einer Brücke auf verschiedene Lastfälle werden von *Hollmann et al. (1994)* in Modellen durchgeführt, die einen fließenden Übergang von parametrischen statischen zu nicht-parametrischen dynamischen Modellen erkennen lassen. Die Analyse des Geschwindigkeits- und Verformungsfeldes von Gletschern *(WELSCH ET AL., 1997)* ist die Grundlage für die Ableitung und Kalibrierung von Fließgesetzen, die das Gletscherverhalten parametrisch beschreiben.
Ein Überblick über den Stand der geodätischen Analyse und Interpretation von Deformationen ist bei *Welsch (1981)* gegeben. Die Monographie „Concepts of Network and Deformation Analysis" von *Caspary (1987)* hat den Charakter eines Lehrbuches. Von *Welsch et al. (2000)* wird ein Handbuch der „Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen" vorgelegt.
Das Institut für Geodäsie hat in den Jahren 1979 und 1983 zum Thema „Deformationsanalysen" zwei öffentliche Seminare abgehalten, deren Beiträge in den Heften Nr. 4 und Nr. 9 der Schriftenreihe des Studiengangs Vermessungswesen veröffentlicht wurden. Über die zitierten Arbeiten hinaus ist eine große Zahl weiterer Publikationen erschienen, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann.

Nordsuchende Kreisel

Die Bestimmung und Übertragung von Azimuten ist für viele Aufgaben in der zivilen, ingenieurtechnischen und militärischen Vermessung von besonderer Bedeutung. Der herausragende Vorteil des bandgehängten nordsuchenden Kreisels liegt darin, dass dieses geodätische Instrument von Wetter und Tageszeit unabhängig völlig autonom die Beobachtungsgröße „Azimut" misst. Deshalb erfolgte bereits ab dem Jahre 1978 eine intensive Beschäftigung mit den damals auf dem Markt befindlichen Geräten. Hierbei stand insbesondere die Untersu-

chung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Kreiseltheodolite im Vordergrund (*Caspary, Heister (1981), Caspary, Heister, Schwintzer (1982a,b), Caspary, Heister (1983), Caspary (1984), Caspary (1987)).* Die vertiefte Beschäftigung mit der Kreiselmesstechnik führte auch zu instrumentellen und beobachtungstechnischen Weiterentwicklungen mit den Schwerpunkten Genauigkeitssteigerung und Automatisierung (*Caspary, Schwintzer (1981), Caspary, Heister Schwintzer (1982b), Caspary, Scheuring (1991)).* Als besondere Projekte sind hierbei die Weiterentwicklung des MK12 zum MK15 anzuführen, die in Zusammenarbeit mit dem Bodenseewerk-Gerätetechnik (BGT), Überlingen durchgeführt wurde, sowie die umfangreichen Untersuchungen - finanziell unterstützt durch BWB, Koblenz, BGT , Überlingen und DMT, Bochum - zum Messverhalten unterschiedlicher Vermessungs-Kreisel in Abhängigkeit der geographischen Breite. Hierbei kamen automatisierte Geräte verschiedener Genauigkeitsklassen und Funktionsprinzipien zum Einsatz: Gyromat, MK12-4, MK10-2, MK11-5 (*Schödlbauer, Heister, Lechner, Schmechtig (1988), Schödlbauer (1990)).* Der Fehlerhaushalt wird bei diesen Geräten durch eine Vielzahl von Einflussgrößen wie

- Temperatur,
- Horizontierung,
- Bandtorsion,
- Änderung der Rotationsgeschwindigkeit,
- Gravitation,
- Schwingungen, Stoß,
- Winkelabgriff

bestimmt, die teils systematische, teils zufällige Abweichungen verursachen. Die Trennung und Quantifizierung dieser Messabweichugen ist besonders unter praxisgerechten Bedingungen kaum möglich. Deshalb wurden über mehrere Jahre Feldversuche an Standorten mit einer geographischen Breite von $\varphi = 26°$ bis $\varphi = 78°$ durchgeführt.
Aus der hohen Anzahl von Einzelmessungen konnten signifikante Fehlerterme a und b abgeleitet werden, die bei vorgegebener geographischer Breite φ die Berechnung der instrumententypischen Genauigkeit (Standardabweichung)

$$s(\varphi) = a + b / \cos \varphi$$

ermöglichen (*Heister, Schödlbauer, 1990, Heister,1991).*

Weiterhin ließen sich bei diesen, über einen längeren Zeitraum erstreckenden Messungen auch wesentliche, quantitative Erkenntnisse über Kalibrierwertstabilität und temperaturbedingte Messwertänderungen ableiten. Die Einzelergebnisse hierzu können der nachfolgenden Publikation *Heister, Lechner, Schödlbauer (1990)* entnommen werden.
Die Umsetzung der hohen inneren Genauigkeit, die bei der präzisen Richtungsübertragung mit nordsuchenden Kreisel und guter Kenntnis des Instrumentes erreicht werden kann, erfordert besonders bei den Umfeldbedingungen im Tunnelbau eine intensive Beschäftigung mit der Horizontalrefraktion. Einerseits wurde versucht, durch Modellierung und Temperaturmessungen diese systematischen Abweichungen zu erfassen, andererseits gilt es Messanordnugen zu treffen, die die Auswirkungen der Horizontalrefraktion weitgehend minimieren bzw. kompensieren (*Heister (1992), Heister (1994), Heister (1997)*) .
Neben diesen instrumentellen Untersuchungen und Entwicklungen wurden auch zahlreiche praktische Einsätze insbesondere mit dem Präzisions-Kreiseltheodolit *Gyromat* durchgeführt. Hierzu zählen

- Anlage von Azimut-Refernzlinien für Kalibrierzwecke *(Heister, Lechner (1988)*,
- Durchschlagskontrollmessungen beim Bau von Abwasserstollen, Fernheizstollen, Zuleitungsstollen von Wasserkraftwerken, Rohrvortrieben, U-Bahn-Tunnel,
- Bestimmung von Anschluss-Azimuten bei Netzverdichtungen,
- Turbinen-Alignment beim Untertagbau von Großkraftwerksanlagen,
- Bestimmung von Referenz-Azimuten in Inertial-Laboren,
- Orientierungskontrolle von Portalnetzen beim Tunnelbau.

Diese praktischen Einsätze dienten einerseits der Erprobung neuer Messverfahren und -geräte unter realistischen Bedingungen, andererseits offenbarten sie häufig auch Schwachstellen, die zu neuen Überlegungen anspornten und somit zu Verbesserungen bei Instrumenten und Beobachtungsmethoden führten.

Testnetze

Unterschiedliche Aufgabenstellungen und Zielsetzungen im Bereich der geodätischen Mess- und Auswertetechniken erfordern Mess- und Vergleichsmöglichkeiten, die außerhalb des Labors liegen müssen. Die Gründe liegen einmal in der größeren räumlichen Ausdehnung aber auch in der möglichst praxisgerechten Testumgebung.
Deshalb beschäftigte sich das Institut für Geodäsie der UNIBwM bereits seit Mitte der siebziger Jahre mit dem Aufbau verschiedener Testnetze:

Testnetz INNTAL
Die Anlage dieses Testnetzes begann im Jahre 1977 mit einer eingehenden Erkundung durch das Geodätische Labor. Als Kriterien hierfür standen zunächst folgende Aufgabenstellungen im Vordergrund:

- Überprüfung und Kalibrierung elektronischer Distanzmessgeräte mittlerer und langer Reichweite;
- Testmessungen mit nordsuchen Kreiseltheodoliten;
- Untersuchung von Refraktionsmodellen;
- Ermittlung von relativen Lotabweichungen und Geoidhöhen nach verschiedenen Methoden;
- Überprüfung funktionaler Auswertemodelle räumlicher Triangulation- und Trilaterationsnetze.

Später kamen noch folgende Aspekte hinzu:

- Überprüfung der Genauigkeit der Dopplerpositionsbestimmung mit TRANSIT;
- Vergleichende GPS-Messungen;
- Erprobung verschiedener Verfahren zur Netzorientierung;
- Lokale Geoidbestimmung;
- Unterschiedliche Verfahren der Höhenmessung.

Um diesen Zielsetzungen gerecht zu werden, standen für die Auswahl der Punkte folgende Randbedingungen im Vordergrund:

- Lage der Punkte im Flachland, in mittlerer Höhe und in der Gipfelregion;
- möglichst große Höhenunterschiede;
- stark unterschiedliche Lichtprofile;
- gute Anfahrtmöglichkeiten;
- mittlere Ausdehnung.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wurden acht Punkte für ein Netz festgelegt, das eine Fläche von ca. 180 km^2 überdeckt und in Abbildung 1 dargestellt ist.

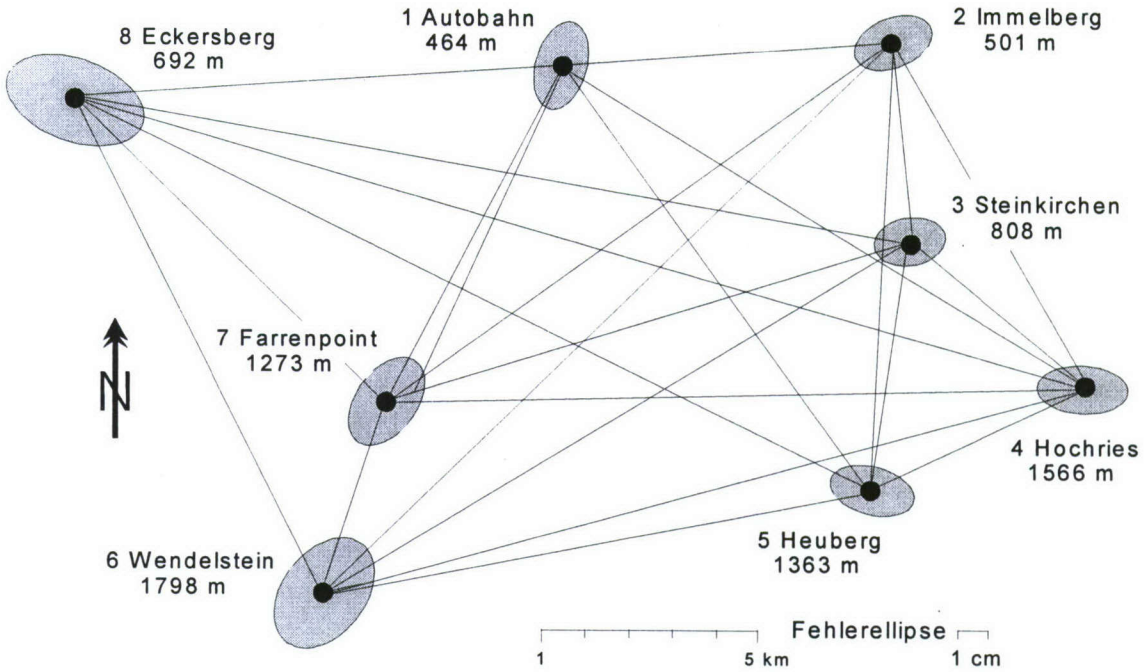

Abb. 1: Testnetz Inntal

Das Netz liegt im Bereich des Autobahndreiecks Inntal der A8 München - Salzburg und erstreckt sich in der Ebene zwischen Au bei Bad Aibling und Tinninger See, in der Mittellage zwischen Farrenpoint und Samerberg sowie in der Gipfelregion zwischen Wendelstein und Hochries. Bis auf wenige Ausnahmen waren die Sichtverbindung zwischen allen Punkten gegeben, wobei die kürzeste Visur 4,5 km, die längste 20,5 km beträgt.
Zur Bestimmung möglichst genauer Koordinaten wurden in zahlreichen Messkampagnen des Instituts und mehreren Diplomarbeiten (Bergbauer, Lechner,Schuchert, Walk (1979), Fehlinger, Rejzek (1980), Müller, Schramm (1980), Daumiller, Derenbach, Dette, Neumann (1981), Borchardt, Schröckenbauer (1982), Grasberger, Feierabend (1982), Nowinsky, Schwab (1983), Hilbrecht, Meier (1985), Ahlers, Grünhagen (1991)) sowie mit Unterstützung des Bayer. Landesvermessungsamtes folgende Beobachtungen durchgeführt:

- Horizontalrichtungen, alle möglichen Visuren
- Zenitdistanzen, gleichzeitig-gegenseitig
- Strecken, alle möglichen Visuren
- Schwere,
- Astronomische Längen, Breiten und Azimute,
- Kreiselazimute.

Die Ergebnisse dieser Kampagnen sind im einzelnen in folgenden Publikationen niedergelegt: Caspary, Heister, Schwintzer (1981a), Heister, Welsch (1981), Caspary, Heister (1981), Caspary, Heister, Schwintzer (1981b), Caspary, Heister, Schwintzer (1982),Caspary, Heister (1983).
Bereits damals standen gerätetechnische Untersuchungen sowie Auswerte- und Genauigkeitsanalysen zur Positionsbestimmung mit Hilfe des Doppler-TRANSIT-Systems (NNSS) im Vordergrund (Heister, Glasmacher (1984)) In der zweiten Hälfte der 80er Jahre waren die

Aktivitäten im Testnetz im wesentlichen gekennzeichnet durch die Erprobung der neueren satellitengestützten Verfahren zur Lage- und Höhenbestimmung (GPS). Hierbei wurde u.a. auch der Schwerpunkt auf Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit dieses Messsystems bei der Höhenbestimmung gelegt. Eine Vielzahl von Veröffentlichung geben das breite Spektrum der in diesem Netz durchgeführten Messungen und Analysen wieder: Heister, Schödlbauer, Welsch (1985), Borutta, Heister (1985), Heister, Schödlbauer, Welsch (1986), Schödlbauer, Glasmacher, Krack (1987a), Schödlbauer, Krack, Glasmacher (1987b),Welsch, Oswald (1987), Welsch (1988), Krack, Scherer (2000).
Obwohl die Überprüfungen geodätischer Messinstrumente, die Entwicklung und Erprobung von Beobachtungsverfahren, das Testen von stochastischen und funktionalen Auswertemethoden in den letzten Jahren an Bedeutung verloren hat, wird es immer wieder Problemstellungen geben, die nur in einem solchen „Naturlaboratorium" näher untersucht werden können.

Testnetze EBERSBERGER FORST und WERDENFELSER LAND
Seit Anfang der siebziger Jahre wurden Navigationsplattformen modifiziert, um sie auch im geodätischen Bereich für die Positions- und Azimutbestimmung zu nutzen. Die aufwendigen und für den Geodäten neuen Verfahren der Signalverarbeitung, Messwerterfassung und -analyse erforderten eingehende Untersuchungen der auf dem Markt befindlichen Systeme hinsichtlich Einsatzbedingungen, Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit. Entsprechend diesen Zielsetzungen wurden zwei Testnetze angelegt, die sich hinsichtlich Punktdichte, Punktverteilung und Topograpie wesentlich unterscheiden.

EBERSBERGER FORST
In einem schachbrettartig angelegten Wegenetz von 8,5 km x 16 km Ausdehnung wurden ca. 60 Punkte so ausgewählt und vermarkt, dass ein gleichmäßiges Punktraster ohne wesentliche Höhenunterschiede mit einer durchschnittlichen Rasterbreite von ca. 1,3 km entstand. Die Lagekoordinaten wurden terrestrisch mit einer Lagegenauigkeit von s_P = 1 - 2 cm, die Höhe mit einer Standardabweichung von s_H = 12 - 18 mm bestimmt. Zusätzlich wurden auf 25 Punkten Schweredifferenzen mit einer Standardabweichung von s_S = 0,02 mgal gemessen und in das Bayerische Schwerenetz 1.Ordnung eingebunden.

WERDENFELSER LAND
Zur Untersuchung von Inertialsystemen unter extremer Topographie wurde eine gebirgige Region um Garmisch-Partenkirchen, ca. 70 km südlich von München, mit einer Ausdehnung von ca. 30 km x 24 km ausgewählt. Entlang eines Netzes von Straßen und Wegen unterschiedlicher Klassifizierung konnten in einem durchschnittlichen Fahrabstand von 4 Min. 68 Punkte vermarkt werden. Die Punktlagebestimmung erfolgte im Anschluss an benachbarte TP's III. und IV. Ordnung. Hierdurch konnte die vorgegebene Punktlagegenauigkeit < 10 cm eingehalten werden. Der Höhenanschluss konnte in den meisten Fällen nivellitisch in einigen trigonometrisch durchgeführt werden. Somit konnte auch hierbei eine Genauigkeit von < 2cm eingehalten werden. Zusätzlich wurden auch in diesem Netz Schweremessungen durchgeführt, die erreichte Genauigkeit liegt bei < 0,05 mgal.
Die Anlage der Netze, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der UniBwM erfolgte, konnte in relativ kurzer Zeit mit Hilfe von Diplomarbeiten *(Heigenhauser, Wagner (1984), Bulirsch, Müller (1985), Hermerding (1985))* sowie durch Unterstützung der TopBat 604 Ulm realisiert werden.

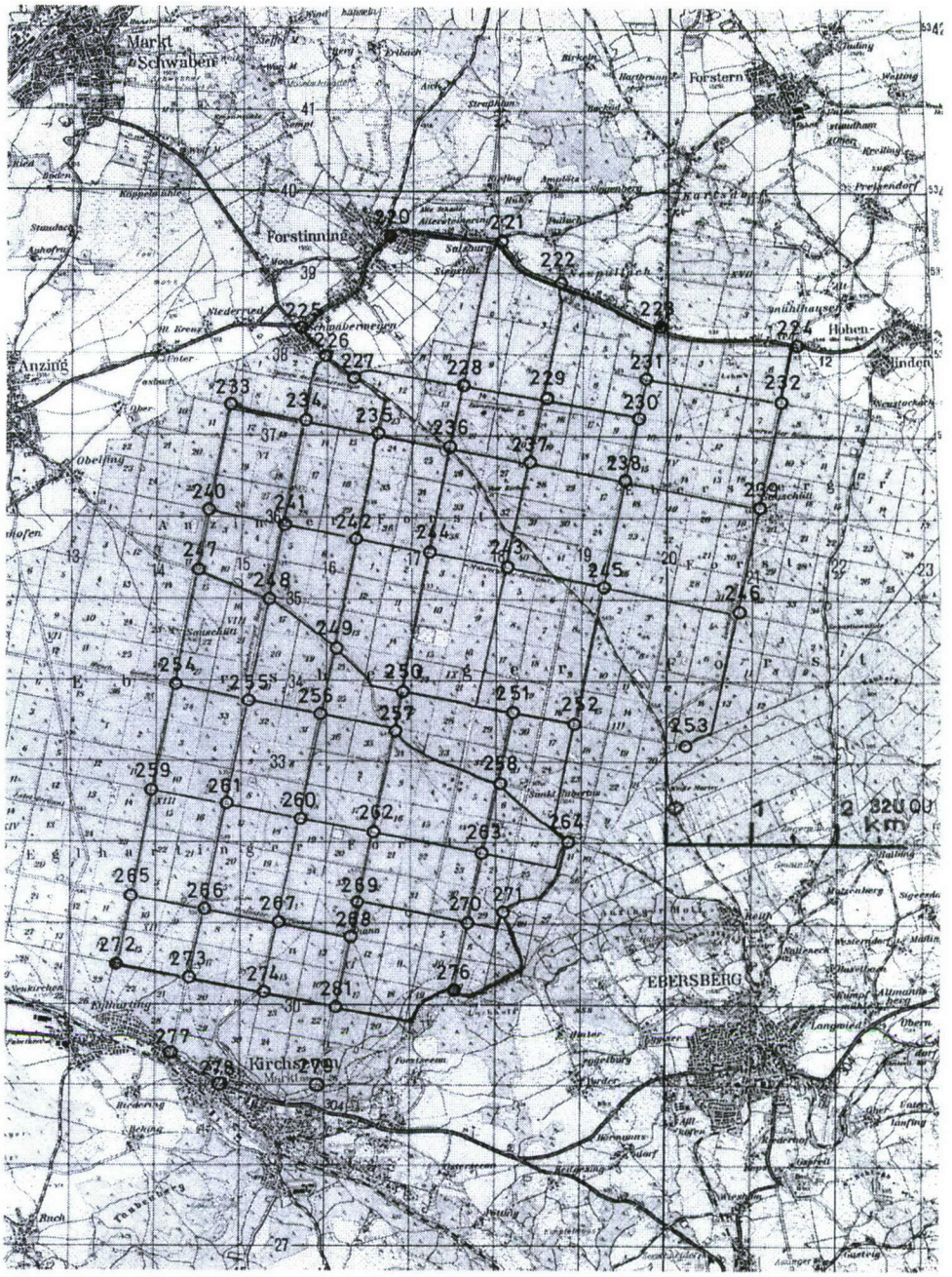

Abb. 2: Testnetz Ebersberger Forst

Testergebisse mit verschiedenen Navigationssystemen und Inertialplattformen der Firmen Bodenseewerk-Gerätetechnik (BGT), Ferranti, Honeywell und Litton sowie weiterführende praktische und theoretische Untersuchungen sind im wesentlichen den nachfolgenden Veröffentlichungen zu entnehmen:
Caspary (1985), Lechner (1985a,b), Schödlbauer (1985a,b), Caspary, König (1986a,b), König (1986), Borutta, Eißfeller, König, Landau, Lechner (1986), Lechner, Griehl (1986), Caspary, Hein, Schödlbauer (1987), Caspary (1987), König (1987), Lechner (1987a,b), Schödlbauer (1987), König, (1988), Lechner (1988), Schödlbauer, Lechner (1988), Caspary (1990).

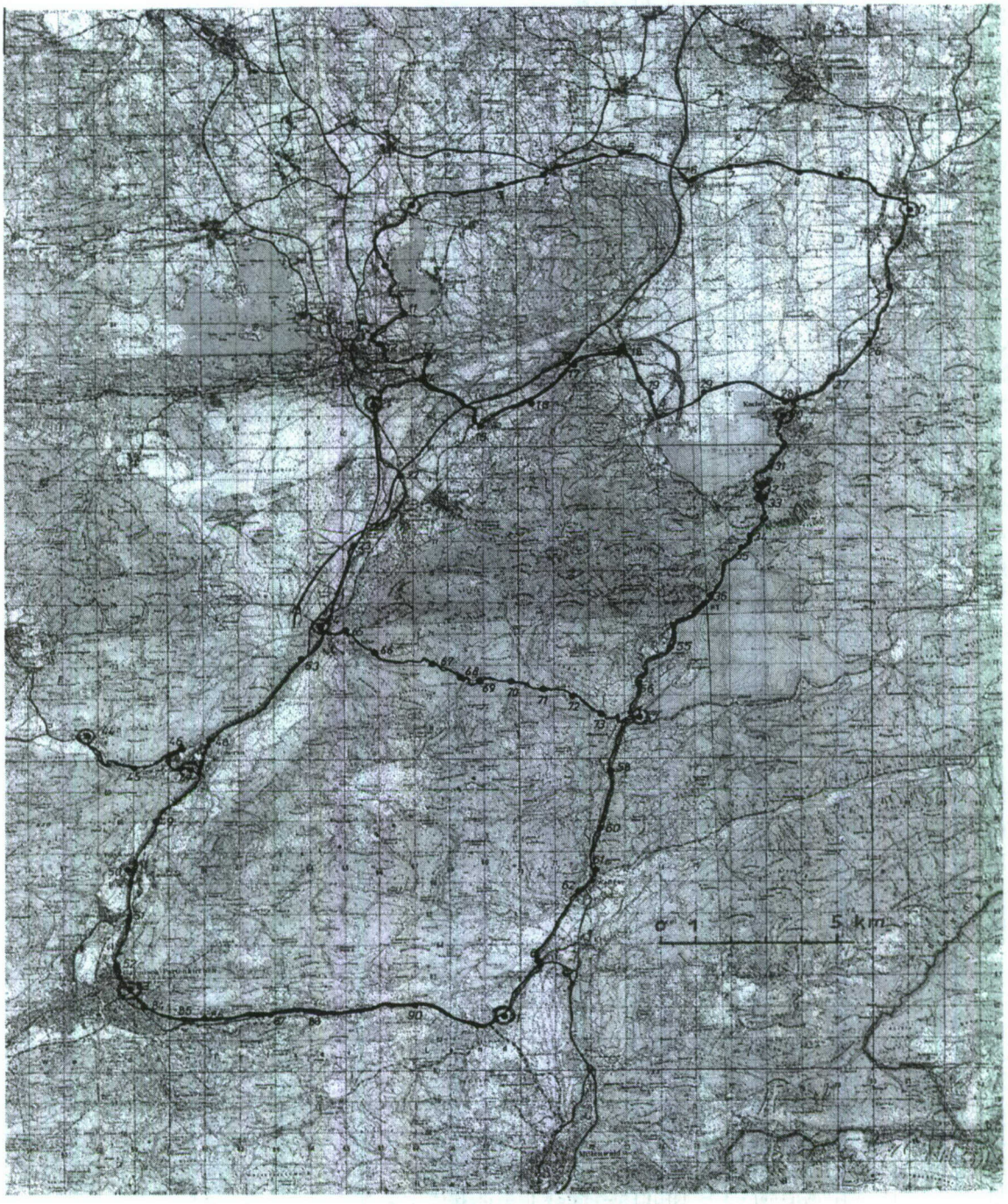

Abb.3: Testnetz Werdenfelser Land

Satelliten-Doppler-Messungen

Satelliten-Dopplermessungen im Navy Navigation Satellite System (NNSS) haben sich zu Beginn der 70er Jahre zu einem leistungsfähigen operationellen Instrument in vielen geodätischen Arbeitsbereichen entwickelt. Das Institut trug dieser Entwicklung durch den Erwerb von transportablen Empfängern Rechnung. Die ersten der angeschafften Geräte (Geoceiver II von Magnavox) waren noch sehr betreuungsintensiv. Der Operateur hatte die Satellitensignale mit einem Kopfhörer abzuhören und beim Durchgang eines Satelliten einen Lochstreifenstanzer einzuschalten. Bei den Geräten der zweiten Generation (MX1502 von Magnavox) erfolgte

die Registrierung der Daten auf Magnetband-Cassetten und lief vollautomatisch ab. Zur Auswertung der Daten wurden die Programme GEODOP und MAGNET verwendet.
Die Instrumente kamen in zahlreichen Messkampagnen zum Einsatz. An nationalen und internationalen Kampagnen mit Beteiligung des hiesigen Instituts sind vor allem folgende zu nennen:

- EDOC 2, 1977: Zweite Europäische Doppler-Kampagne
- DOEDOC, 1977: Deutsch-Österreichische Doppler-Kampagne
- ALGEDOP, 1980 bis 1984: Dopplerkampagnen zur Bestimmung des Geoids im Alpenraum
- CIDOC, 1982: Côte d'Ivoire Doppler-Kampagne
- RETDOC, 1984: Doppler-Messkampagne im RETrig
- SWISSDOC, 1984: Doppler-Messkampagne der schweizerischen Landesvermessung
- SFB69, 1985: Doppler-Messkampagnen für SFB69-Projekte der DFG in Oberägypten.

Veröffentlichungen entstanden im im Rahmen der CIDOC (Cissé, Etling, Grafarend, Kahle, Reinhart, Schlüter, Schödlbauer, Seeger, 1982; *Cissé, Etling, Kahle, Reinhart, Rösch, Schlüter, Schödlbauer, Seeger, 1983; Schödlbauer, 1983; Cissé, Kahle, Reinhart, Rösch, Schödlbauer, Seeger, 1984; Geiger, Kahle, Reinhart, Rösch, Schödlbauer, Seeger, 1984*) und der SFB-Kampagne (*Breunig, 1987*).
In eigener Regie wurden Dopplermessungen im Testnetz Inntal durchgeführt (*Heister, Glasmacher, 1984*). Aus der Praxis heraus sind im übrigen eine Reihe von theoretischen Arbeiten entstanden, etwa über die Kombination von Doppler- mit terrestrischen Netzen (*Welsch, Oswald, 1984, 1985/1, 1985/2, 1986/1, 1986/2, 1987*) sowie über die bei der geodätischen Nutzung von Satelliten involvierten Bezugssysteme (*Schödlbauer, 1984/3*). In dem Seminar »Satelliten-Doppler-Messungen« (*Schödlbauer, Welsch, 1984*) und in dem Workshop der FIG Study Group 5b und 5c »Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys« (*Welsch, Lapine, 1985*) wurde unter Mitwirkung externer Autoren (*Seeber, Schlüter, Hauck, Hein, Rinner, Wolf, Seeger, Schenke, Hartl, Thiel, Strauss, Reigber*) darüber hinaus versucht, Gesamtdarstellungen aller mit dem Einsatz des NNSS in der Landesvermessung zusammenhängenden Fragen zu geben.

Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung geodätischer Instrumente und die damit verbundene Entwicklung geeigneter Verfahren und Einrichtungen war schon immer eine vorrangige Aufgabe universitärer Institutionen. Somit wurde auch dieses Spezialgebiet geodätischer Messtechnik seit etwa 1976 Arbeitsschwerpunkt am Institut für Geodäsie der UniBwM.
Für die unterschiedlichen Prüfverfahren stehen folgende Einrichtungen zur Verfügung:

- Komparatorraum mit
- Präzisionslängenkomparator (30 m),
- Präzisionsneigungstisch,
  verschiedene Kollimator-Prüfstände,
  Photoelektrische Autokollimatoren,
  Präzisionsdrehtisch,
  Klimakammer,

- EDM-Prüfstrecke,
- Kalibrierstrecke für nordsuchende Kreisel,
- Kreisel-Labor mit Referenzrichtungen.

Komparatorraum

Im Komparatorraum befinden sich die wesentlichen Labor-Prüfeinrichtungen für die Messgrößen *Länge* und *Winkel*.

Zur Überprüfung der *Länge* wurde ein Präzisionslängenkomparator mit einem Arbeitsbereich von 30 m aufgebaut. Dieser Longitudinalkomparator ermöglicht die Kalibrierung von Strichmassen wie Meternormale, Nivellierlatten, Messbänder , Invardrähte, Glasmaßstäbe aber auch Messuhren, elektrische Weggeber und elektronische Distanzmessgeräte. Als sekundäres Längennormal wird hierbei ein Laser-Interferometer der Fa. Hewlett Packard verwendet. Weitere technische Einzelheiten sind *Heister (1987)* zu entnehmen. Besonderer Schwerpunkt bei der Entwicklung geeigneter Kalibrierverfahren war von Anbeginn die Automatisierung des gesamten Messablaufs. Deshalb wurden intensive Untersuchungen zu dem Teilproblem „photoelektrischer Stricheinfang" durchgeführt unter der Zielsetzung, die automatisierte Strichmitteneinstellung der visuellen optimal (bezogen auf den Messprozess) anzupassen. Dieses Vorhaben wurde in den Jahren 1982-1985 von der DFG gefördert. Ergebnisse hierüber sind in *Heister, Caspary, Tille (1983)*, *Tille (1984)* und *Caspary, Heister (1988)* veröffentlicht. Über weitere Längen-Prüfverfahren wird in *Heister, Peipe (1984), Heister (1984)* und *Heister (1994)* berichtet, wobei der letzte Beitrag die aktuellen Fragen der Kalibrierung von Nivellier-Systemen und Strichcode-Latten diskutiert.

Die Prüfeinrichtung ist zur Zeit in der Lage, vollautomatisiert alle Strichmaße zu kalibrieren; insbesondere können bei Präzisions-Nivellierlatte (auch Code-Latten) Maßstab, Strichverbesserungen und Nullpunktsfehler bestimmt werden. Darüber hinaus kann noch während der Kalibriermessung über einen Abstandssensor ein Längsprofil des Teilungsträgers (z.B. als zusätzliches Gütekriterium der Latte) abgetastet werden.

Die Messgröße *Winkel* wird durch verschiedene Kalibriereinrichtungen mit unterschiedlichen Arbeitsbereichen realisiert. Ein Präzisions-Neigungstisch, basierend auf einem interferometrischen Messprinzip mit einem Messbereich von ± 4 gon wurde speziell für die Kalibrierung unterschiedlicher Neigungssensoren wie Flüssigkeitslibellen, elektronische Neigungsgeber, Kompensatoren in Nivellieren und Theodoliten entwickelt. Aufbau, Funktion und Genauigkeiten sind in *Geiger (1982)* ausführlich dargestellt. Weitere Kollimatoren und photoelektrische Autokollimatoren dienen den Standard-Prüfverfahren geodätischer Winkelmessinstrumente. Besonders zu erwähnen ist hierbei eine optische Bank mit drei in einer Vertikalebene angeordnete Kollimatoren (0° und ± 45°) zur genauen Bestimmung des Kippachsfehlers bei Präzisionstheodoliten und einem Infrarot-Kollimator zur Überprüfung der Koaxilität von visuller Zielung und EDM-Messung.

Zur Zeit ist eine weitere Prüfanlage im Aufbau, die es ermöglichen wird, die elektronische Horizontal-Winkelmessung des Theodoliten in diskreten, beliebig kleinen Schritten zu überprüfen. Als Vergleichsnormal dient eine Winkelreferenz der Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut mit einer Genauigkeit von < 0,01 mgon.

Nahezu alle Instrumentenprüfungen können in modifiziertem Aufbau auch in einer Klimakammer (Temperaturbereich von – 25°C bis 50°C) durchgeführt werden.

EDM-Prüfstrecke

Das vorrangige Verfahren zur Kalibrierung elektrooptischer Entfernungsmesser besteht darin, auf einer Prüfstrecke unter realen Messbedingungen einen Soll-Ist-Vergleich durchzuführen. Deshalb entschloss sich das Institut für Geodäsie im Jahre 1982 eine solche Prüfstrecke mit folgenden Eigenschaften aufzubauen:

7 Pfeiler über einen Bereich von 540 m so angeordnet, dass
eine gleichmäßige Verteilung aller messbaren Distanzen vorliegt und
alle Ablesungen über den Feinmaßstab von 10m gleichverteilt sind.
Ein weiterer Pfeiler 8 ermöglicht Distanzmessungen bis 1078 m.

Standardabweichung benachbarter Teilstrecken < 0.05 mm
Standardabweichung des Maßstabes 0.2 ppm

Die Anlage dieser Prüfeinrichtung ist in *Caspary (1984)*beschrieben, praktische Messungen sind in *Caspary, Heister (1984)* sowie *Heister (1984)* publiziert.

Kalibrierstrecke für Vermessungskreisel und Kreisel-Labor mit Referenzrichtungen
Zur Bestimmung des Kalibrierwertes nordsuchender Kreisel sowie zur Überprüfung der Kalibrierwertstabilität wurden verschiedene Prüfeinrichtungen geschaffen. Dies ist zum einen eine Kalibrierstrecke gemäß DIN 18723, Teil 7, die sowohl zur Genauigkeitsuntersuchung unter Feldbedingungen als auch zur Kalibrierwertbestimmung dient. Sie wurde in West-Ost-Richtung mit einer Zielweite von 187 m angelegt, das Vergleichsazimut wurde astronomisch mit einer Standardabweichung von 0,3 mgon gemessen. Zum anderen wurde für Prüfungen unter Laborbedingungen in einem temperaturstabilsierten Raum drei Referenzrichtungen durch Autokollimationsspiegel festgelegt; die Richtungsstabilität ist < 0,1 mgon. Hierdurch wird eine präzise Überwachung des Kalibrierwertes und der Funktionstüchtigkeit von Präzisionskreisel ermöglicht. In Verbindung mit Vergleichsmessungen in der Klimakammer lassen sich somit wesentliche Angaben über Wiederholgenauigkeit, Temperaturverhalten und Kalibrierwertdrift eines Vermessungskreisels machen. Über Erfahrungen und Ergebnisse, die mit unterschiedlichen Instrumenten auf diesen Prüfeinrichtungen gewonnen wurde, wird in *Heister, Lechner (1988), Heister, Schödlbauer (1990), Heister, Lechner, Schödlbauer (1990), Heister (1991)* und *Heister (1992)* berichtet.
Im Zuge der Einführung von Qualitätsmanagementsystemen gemäß DIN EN ISO 9000 ff im Vermessungswesen gewinnt auch das innerbetriebliche Bestätigungssystem für Messmittel mehr und mehr an Bedeutung. Eng verbunden ist damit auch die Rückführung der Gebrauchsnormale auf die nationale Normale. Hierbei übernehmen die akkreditierte Kalibrierlabore eine wesentliche Aufgabe bei der Bereitstellung der Bezugsnormale und zertifizierten Kalibrierung. Deshalb strebt auch das Geodätische Labor der UniBwM eine Akkreditierung für die Messgrößen Länge und Winkel durch die PTB und Aufnahme in den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) an.

Glazialgeodäsie

Unter Glaziologie versteht man die Wissenschaft, die sich unter Einschluss aller Disziplinen, die dazu Beiträge leisten können, mit dem Studium aller Aspekte von Eis und Schnee, vor allem aber mit existierenden Gletschern im weitesten Sinne beschäftigt. Die der Glaziologie dienenden Wissenschaften sind vornehmlich Geomorphologie, Meteorologie und Klimatologie, Physik der Eisdeformationen (Kontinuumsmechanik, Gletschermechanik), Thermodynamik, Glazialgeophysik, Glazialgeologie, Hydrologie, Spurenstoff- und Isotopenchemie und -physik, Pflanzenökologie u.a., und nicht zuletzt auch die Glazialgeodäsie, die in der Lage ist, topographische Bestandsaufnahmen zu machen und räumlich-zeitliche Veränderungen festzustellen.
Im Rahmen des Arbeitsschwerpunktes wurden geodätische Methoden in zwei Projekten der Polarglaziologie eingesetzt.

Antarktisforschung
Das Institut für Geodäsie beteiligte sich am Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung" der Deutschen Forschungsgemeinschaft anlässlich der Expedition II/4 im Antarktissommer 1983/1984 und an der Expedition V/4 in der Saison 1986/1987 zur Erforschung der Dynamik und des Massenhaushaltes des Ronne-Filchner- und des Ekström-Schelfeises. Das Ronne-Filchner-Schelfeis nimmt als zweitgrößtes Schelfeis (400.000 km²) der Erde im Hinblick auf

die Frage nach dem Massenhaushalt des gesamten Inlandeises der Antarktis und seiner Dynamik eine Schlüsselstellung ein. Das Ekström-Schelfeis stellt eine relativ kleine Eismasse im Hinterland der permanenten deutschen Antarktisstation „Georg von Neumayer" dar. Der geodätische Beitrag zu dem interdisziplinären Forschungsprojekt „Massenhaushalt und Dynamik" umfasst im wesentlichen die Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes und des Verzerrungsverhaltens der untersuchten Eiskörper. Die Ergebnisse liefern einerseits direkte Erkenntnisse zu den Fragestellungen des Projekts, andererseits sind sie wichtige Grundlage für weiterführende Untersuchungen anderer beteiligter Disziplinen. Grundlage der geodätischen Untersuchungen ist die nach Möglichkeit im Jahresabstand wiederholte Positionsbestimmung der Punkte eines die Schelfeise flächendeckend überziehenden Punkterasters. Die Positionsänderungen der Punkte können unmittelbar in Punktgeschwindigkeiten umgerechnet werden. Die geometrische Analyse der Formänderungen von Flächenfiguren, die aus den Rasterpunkten gebildet werden können, geben Aufschluss über das Verzerrungsverhalten des Eises im Bereich der betrachteten Figur. Aus ihm lassen sich weitere Schlussolgerungen ableiten. Die großräumigen Vermessungsarbeiten wurden satellitengestützt (Transit-Doppler-Messungen) ausgeführt.

Juneau-Icefield-Research-Program

Unmittelbar nördlich der Hauptstadt von Alaska, Juneau, liegt ein ausgedehntes Netz von Gletschern, die in ihrer Summe das Juneau Icefield bilden. Dieses arktische Eisgebiet gehört mit mehr als 4000 km² zu den größten zusammenhängenden Eisfeldern außerhalb von Grönland und der Antarktis. Das Juneau-Icefield-Research-Program (JIRP) wurde 1946 von der State University of Idaho, USA, organisiert, um in interdisziplinärer Zusammenarbeit langfristige Untersuchungen und Studien anzustellen mit dem Ziel, die gesamte Umwelt arktischer Gletscherregionen kennenzulernen und zu verstehen. Das Programm wird während zweier Sommermonate durchgeführt, in denen akademische Vorlesungen mit Feldexkursionen, -praktika und -übungen verbunden werden, um die Vielfalt glaziologischer Probleme erfassen und bearbeiten zu können. Unter Aufsicht von 20 bis 25 Wissenschaftlern aller möglichen glaziologischen Wissenschaftsgebiete werden Studenten in die komplexe Materie eingewiesen. Dabei arbeiten die Studenten, die selbst verschiedenen Disziplinen und Ausbildungsstufen angehören, praktisch an der Durchführung der Forschungsprojekte der beteiligten Wissenschaftler mit. Angehörige des Instituts für Geodäsie leiten seit 1981 die geodätischen Arbeiten im Rahmen des JIRP. Zu ihren Aufgaben gehören die Anlage und Verknüpfung lokaler geodätischer Netze als Bezugssysteme für Untersuchungen anderer Disziplinen, die Einbindung dieser Netze in das Referenzsystem des International Geodynamic Service (IGS), topographische Geländeaufnahmen von Gletschern und ihrer Umfelder für Ablations- und Akkumulationsstudien und Aussagen zum Massenhaushalt, Eishöhlenvermessungen, Geschwindigkeits- und Verformungsmessungen als Grundlage weiterführender Arbeiten insbesondere für die Entwicklung dynamischer Gletschermodelle, photogrammetrische Aufnahmen zum Studium schneller Eisbewegungen unzugänglicher Gletscherbrüche u.a.m. Während in den ersten Jahren ausschließlich terrestrische Instrumente zum Einsatz kamen, werden heute nahezu alle Arbeiten mit satellitengestützten Verfahren vornehmlich in Echtzeit ausgeführt, wodurch die Effektivität, Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen wesentlich gesteigert werden konnte. Einen Überblick über die geleisteten Arbeiten vermittelt die Monographie „Geodetic Activities, Juneau Icefield, Alaska, 1981-1996" (*Welsch et al., 1997*).

Literatur:

Karsten, Kock, Kohler, Lange, Sievers, Stober, Walter, Welsch (1984), Ellmer, Hinze, Seeber, Welsch, (1987), Welsch, (1987d), Daellenbach, Welsch,(1990), Erhardt, Hinze, Oswald, Schenke, Timmen, (1990), Hinze, Karsten, Lindner, Oswald, Ritter, Timmen, (1990),

Rentsch, Welsch, Heipke, Miller, (1990), Welsch, (1994a), Lang, Welsch, (1997), Lang, (1997), Marcus, Chambers, Miller, Lang, (1997), Welsch, Lang,, Miller, (eds.) (1997)

Industrievermessung

Bereits zu Beginn der achtziger Jahre konnten im Rahmen der dynamischen Modellierung von Deformationen beim Betrieb von Großmaschinen erste Messerfahrungen im industriellen Umfeld gesammelt werden. Der konsequente Einsatz der noch jungen online Registrierung mit automatisierten Messsystemen ermöglichte die nichtparametrische Beschreibung des Systemmodells der Deformationen eines Großturbinentisches und ihrer Ursachen (vgl. hierzu auch den Arbeits- und Forschungsschwerpunkt „Deformationsmessungen und -analysen).
Ein Industriemesssystem der Firma Wild Leitz, bestehend aus den elektronischen Theodoliten Wild 2000S und Wild T3000 jeweils mit panfokalem Fernrohr und interner Zielmarke zur gegenseitigen Orientierung, wurde im Jahre 1987 in Betrieb genommen und im praktischen Einsatz erprobt. Als Steuer-Software wurde die ebenfalls von Wild Leitz angebotene TMS (ManCAT) genutzt. Neben Systemuntersuchungen im Vergleich mit photogrammetrischen Nahbereichsmesssystemen und Untersuchungen zur online Auswertung wurde vorrangig in der Automobilindustrie Messerfahrung gewonnen. Zu den bearbeiteten Messaufgaben zählen:

- Koordinatenbestimmung an verschiedenen Werkzeugen
- Qualitätskontrolle von Vorrichtungen, Werkzeugen und gefertigten Produkten
- Einrichten von Werkzeugen, Spannvorrichtungen und Fertigungsstrassen
- Erfassung von Maßänderungen bei Fertigungsvorgängen
- Dupliziergenauigkeit bei alternierenden Montagevorgängen
- Erfassung des Bewegungsverhaltens von Industrierobotern zur offline Programmierung
- Untersuchungen an Industrierobotern zur Bestimmung der
  - Reproduzierbarkeit der Orientierung
  - Reproduzierbarkeit von Bahnkurven
  - Wiederholanfahrgenauigkeit von Raumpunkten
  - absoluten Positioniergenauigkeit.

In der Folgezeit rückte die online Auswertung in den Mittelpunkt des Interesses. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Erprobung eines autonomen Messsystems, bestehend aus einem motorisierten Theodolit Wild TM 3000 V mit integrierter CCD-Kamera und der erforderlichen Steuersoftware. Umfangreiche Untersuchungen zur Genauigkeit der automatischen Zielpunkterfassung im Nahbereich bis 25 m bestätigten die hohe Güte des Winkelmessteils. Im Rahmen von kontinuierlichen Setzungsmessungen von Maschinenfundamenten bei baulichen Maßnahmen wurde dieses System im Jahre 1991 erstmals eingesetzt. Dabei konnte eine lückenlose Überwachung mit online Auswertung und automatischen Backups für den viermonatigen Zeitraum der Baumaßnahme gewährleistet werden.
Auf andere Arbeiten zur automatischen Bauwerksüberwachung wird im Arbeits- und Forschungsschwerpunkt „Alignement“ hingewiesen.
Auf einem sehr gut besuchten Symposium (über 200 Teilnehmer) wurde im Jahre 1991 ein umfassender Überblick über den „state of the art“ der geodätischen Messtechnik im Umfeld des Maschinenbaus gegeben.
Ellmer (1984), Ellmer (1987), Heister, Peipe (1990), Lang, Welsch (1992a), Lang, Welsch (1992b), Schlemmer, Welsch (1989), Schlemmer, Welsch (1991), Welsch, Schlemmer, Lang (Hrsg.) (1992), Welsch (1989), Welsch (1993), Welsch (1995)

Robuste Schätzverfahren

Für die Behandlung von Ausreißern in statistischen Stichproben und geodätischen Beobachtungsreihen ist eine große Zahl von Verfahren entwickelt worden, die alle daran kranken, dass sie entweder der theoretischen Grundlage entbehren oder dass die Annahmen hinsichtlich des Verteilungsmodells oder der Anzahl der vorhandenen Ausreißer praxisfern sind. Erst mit der Entwicklung robuster Schätzverfahren seit Mitte der 60er Jahre hat man begonnen, ein schlüssiges Theoriegebäude zu errichten und Schätzkriterien zu erarbeiten, unter denen unabhängig von der Existenz von Ausreißern optimale Schätzergebnisse erzielt werden können. In (*Huber, 1964*) wurde der Grundstein gelegt. Während die klassischen Maximum-Likelihood-Schätzer für genau ein parametrisches Verteilungsmodell optimal sind, entwickelte Huber, ebenfalls nach dem Maximum-Likelihood-Prinzip Schätzer, die in einer gewissen Umgebung P_δ einer Modellverteilung F_0 zugleich das Supremum der systematischen Abweichung und das der Varianz minimieren. Die für Anwendungen wichtigste Modellverteilung ist die Normalverteilung, deren Umgebung durch eine mit Wahrscheinlichkeit δ auftretende beliebige Störverteilung H beschrieben wird. Diese auch als Grobfehlermodell bezeichnete Umgebung hat die Form

$$P_\delta(F_0) = \{F \setminus F = (1-\delta) F_0 + \delta H\} .$$

Wenn F_0 und H unimodal und symmetrisch sind, besitzt F an beiden Enden eine größere Wahrscheinlichkeitsdichte als F_0, man spricht daher von *dickschwänziger* Verteilung.
Die nach Hubers Kriterien entwickelten robusten M-Schätzer für die Parameter x eines linearen Modells $Ax = l + \varepsilon$, $E(\varepsilon\varepsilon^t) = \sigma^2 I$ haben folgende implizite Form

$$\psi\left(\frac{Ax - l}{\sigma}\right) = 0 \,,\; \chi\left(\frac{Ax - l}{\sigma}\right) = \alpha$$

deren Lösungen $\hat{\chi}$ und $\hat{\sigma}$ iterativ zu berechnen sind. Die Wahl von ψ, χ und α hängt von den Annahmen über P_δ ab. Ein Vergleich verschiedener ψ-Funktionen und numerischer Lösungsmethoden findet man unter anderem in *Holland und Welsch (1977).*
Unter anwendungsbezogenen Gesichtspunkten lassen sich die Eigenschaften der robusten M-Schätzers folgendermaßen darstellen: Wenn ein Messprozess abläuft, bei dem mit Wahr scheinlichkeit $p_1 = 1 - \delta$ "gute" (modellkonforme) und $p_2 = \delta$ "schlechte" Beobachtungen Ausreißer) auftreten, so liefert der Huber-Schätzer Ergebnisse, die sich nur geringfügig von den optimalen Ergebnissen am Modell F_0 unterscheiden, während die klassischen Schätzer in Abhängigkeit von δ und H zu unbrauchbaren Ergebnissen führen können.
Durch zahlreiche Ergänzungen und Verfeinerungen des Huberschen Konzepts, hier sind vor allem *Hampel (1968, 1971)*, *Huber (1973)* und *Hill (1977)* zu nennen, ist die robuste Schätzmethode zur Praxisreife entwickelt worden. Sie wird in der angewandten Statistik hauptsächlich zur Auswertung eindimensionaler Stichproben und in der Regressionsschätzung eingesetzt. Entscheidende Vorteile der robusten Schätzverfahren gegenüber der Methode der kleinsten Quadrate sind:

- Kleine Abweichungen von den Modellannahmen (kleine Fehler aller Beobachtungen, z.B. Rundung oder Diskretisierung bzw. beliebig große Abweichungen weniger Beobachtungen) haben nur geringen Einfluss auf die Schätzergebnisse.
- An die Stelle einer scharfen, willkürlichen Grenze zwischen guten und schlechten Beobachtungen tritt ein Intervall, in dem die Beobachtungen graduell herabgewichtet werden.
- Die Wirkung der Ausreißer bleibt lokal und damit zuverlässig identifizierbar. Maskierungs- und Verschmierungseffekte werden vermieden.

- Sind die Beobachtungen frei von Ausreißern, so ist der Effizienzverlust robuster Schätzer gering und meist vernachlässigbar.
- Robuste Schätzer sind adaptiv in dem Sinne, dass sie die große Mehrheit der Daten zur Geltung bringen und sich daher für die automatische Auswertung großer Beobachtungsreihen besonders eignen.

Seit etwa 1980 gibt es in der Geodäsie Entwicklungen mit dem Ziel, die Ausgleichungsmethoden zu robustifizieren. Es sind dabei zwei Entwicklungslinien festzustellen. Die eine versucht, die in der Statistik entwickelte Theorie auf geodätische Problemstellungen zu übertragen, während die andere heuristische Verfahren anwendet, die auf die Identifikation von Ausreißern abzielen. Zu beiden sind vom Fachgebiet Ingenieurgeodäsie von Beginn an Beiträge erarbeitet worden.
Bei der Deformationsanalyse durch Epochenvergleich ausgeglichener Überwachungsnetze wird häufig zunächst die Hypothese, dass keine Deformation aufgetreten ist, gegen die Alternative, dass sich einzelne Punkte verändert haben, geprüft. Dazu werden die Punktfelder durch Minimierung einer Funktion der Koordinatenunterschiede aufeinander transformiert. Um die Verschmierungs- und Maskierungseffekte der Methode der kleinsten Quadrate zu vermeiden, wurden verschiedene Zielfunktionen entwickelt und erprobt. Als besonders wirksam hat sich für dieses Problem die Summe der gewichteten Beträge der scheinbaren Verschiebungsvektoren erwiesen. Soll ein Deformationsmodell an das Verschiebungsfeld angepasst werden, ohne dass vorher instabile Einzelpunkte eliminiert werden, so erhält man die besten Ergebnisse mit der Hampelschen ψ-Funktion, die bei ungünstigem Netzaufbau durch Einführung eines positionsabhängigen Gewichts modifiziert werden kann. Parallel zu diesen Entwicklungen zur robusten Deformationsanalyse wurden die robusten Verfahren der angewandten Statistik auf die geodätische Ausgleichungsrechnung übertragen. Durch theoretische Untersuchungen und umfangreiche Simulationsstudien konnte nachgewiesen werden, dass geeignet ausgewählte Schätzer für die Unbekannten und ihre Genauigkeit bei fehlerfreien Beobachtungen ebenso gute Ergebnisse liefern wie die Methode der kleinsten Quadrate, dass sie aber bedeutend besser abschneiden, wenn Ausreißer in den Daten existieren.
Diese sehr ermutigenden Erfahrungen mit robusten Schätzern bei Ausgleichungsproblemen waren der Anlass, die Arbeiten weiterzuführen, um auch die Auswertung der vermehrt in der Geodäsie anfallenden Zeitreihen gegen Ausreißer resistent zu machen. Umfangreiche Untersuchungen zur Robustifizierung von Zielfunktionen und Entscheidungskriterien haben zu einer ausreißertoleranten Identifikation von ARMA-Modellen und zur deutlichen Verbesserung der Parameterschätzung geführt. Die Übertragung dieser Methoden aus dem Zeit- in den Frequenzbereich haben auch hier dazu geführt, dass der Einfluss von Ausreißern gedämpft wurde. Allerdings lässt die Struktur der Spektralschätzer nicht die deutlichen Verbesserungen zu, die in linearen Modellen erreicht werden konnten.
Die Forschungsarbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Ca 88/7-1,2 und /14-1,2 von 1988 bis 1996 gefördert. Die Forschungsergebnisse sind detailliert dargestellt in *(Borutta, 1988, Caspary, 1984, 1987, 1988, 1989, 1996, Caspary/Borutta, 1985, 1986, 1987, Caspary/Chen, 1995a, 1995b, Caspary/Chen/König, 1983, Caspary/Haen, 1990, Caspary/Haen/Borutta, 1990, Caspary/Haen/Klemm, 1992, Caspary/Sutor, 1994, 1996, Chen, 1996, Sutor, 1997* und *Wang, 1997)*.

Hampel, F.R.: Contributions to the theory of robust estimation. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1968, Hampel, F.R.: A general qualitative definition of robustness. Ann. math. Statist., 42, pp. 1887-1896, 1971, Hill, R.W.: Robust regression when there are outliers in the carriers. Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, Mass., 1977, Holland, P.W., Welsch, R.E.: Robust regression using iteratively reweighted least squares. Comm. Statist., A6, pp. 813-827, 1977, Huber, P.J.: Robust estimation of a location parameter. Ann. Math. Statist., 35, pp. 73-101, 1964, Huber, P.J.: Robust regression: Asymptotics, conjectures and Monte Carlo. Ann. Statist., 1, pp. 799-821

GPS in der Landesvermessung

Das satellitengestützte Global Positioning System (GPS) hat das Arsenal der in der Landesvermessung eingesetzten Beobachtungsverfahren um eine überaus leistungsfähige Komponente erweitert: die Bestimmung dreidimensionaler Koordinaten und Koordinatenunterschiede in einem globalen Bezugssystem. Die im Berichtszeitraum durchgeführten Untersuchungen zielten darauf ab, Mess- und Rechenverfahren zu entwickeln, die es ermöglichen sollten, das GPS zur Neuanlage und zur Verdichtung bestehender Lage- und Höhenfestpunktfelder zu nutzen.
Erste Erfahrungen mit der Leistungsfähigkeit des GPS konnten in einer Messkampagne erworben werden, in der 1984 in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Otmar Schuster, Mülheim an der Ruhr, das Testnetz Inntal mit zwei GPS-Empfängern (Macrometer V1000) beobachtet wurde. Die in wenigen Beobachtungstagen erzielten Ergebnisse belegten im Vergleich mit den in früheren Kampagnen auf der Grundlage von aufwendigen terrestrischen Messverfahren gewonnenen das hohe Genauigkeits- und Wirtschaftlichkeitspotential des GPS-Verfahrens (*Heister, Schödlbauer, Welsch, 1985; 1986*). In Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsämtern von Bayern und Nordrhein-Westfalen und dem vorerwähnten Ingenieurbüro konnten die positiven Erfahrungen mit dem gleichen Empfängertyp dann auch noch in einer großräumig angelegten Messkampagne (1983-1985) im Deutschen Hauptdreiecksnetz unter Beweis gestellt werden (*Krack, Schödlbauer, 1986*).
Die gerätetechnischen Grundlagen für selbständige Untersuchungen zur GPS-Technologie wurden durch einen vom Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) erteilten Studienauftrag gelegt, der es dem Institut ermöglichte, einen Zweifrequenz-P-Code-Empfänger (TI4100 der Fa. Texas Instruments) zu beschaffen. Ein zweites, zur geodätischen Nutzung des GPS zwingend erforderliches Gerät des gleichen Herstellers ist aus Institutsmitteln beschafft worden. (Allein aus dem Investitionsetat des Instituts wäre die Beschaffung der über US$ 150.000 teuren Geräte bei dem seinerzeitigen Dollarkurs von DM3,50 nicht möglich gewesen). Als Auswertesoftware wurde die vom Astronomischen Institut der Universität Bern entwickelte »Berner Software« implementiert. Später wurden dann noch GPS-Empfänger der Firmen Leica und Trimble beschafft und in die laufenden Forschungsprojekte einbezogen.
Die für das BWB durchgeführten Studien zielten in erster Linie auf den Einsatz des GPS für die schnelle Lagevermessung von militärischen »Navigationspunkten« mit einer Positionierungsgenauigkeit von besser als 1m. Das entwickelte Verfahren stützte sich auf die simultane statische Beobachtung von Pseudoentfernungen über Messperioden von unter einer Minute. Die entwikkelten Programme ermöglichten eine Quasi-Online-Bestimmung von Lagekoordinaten in einem beliebigen Landessystem. Die Untersuchungsergebnisse wurden in zwei umfangreichen Studien dokumentiert: »*Relative Positionsbestimmung auf der Grundlage simultaner Messungen von Pseudoentfernungen im Global Positioning System - E/F41G/F0104/ E5255*« und »*Entwicklung eines Programmsystems zur schnellen statischen Positionsbestimmung auf der Grundlage von Pseudoentfernungs-Differenzen mit dem GPS-Empfänger Trimble 4000SST E/F41G/ L0134/ E5255*«. Über die Ergebnisse ist ausserdem auf dem 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning und in dem Seminar des Studiengangs »Moderne Verfahren der Landesvermessung« berichtet worden (*Schödlbauer, Glasmacher, Krack, 1989; Schödlbauer, 1990; Glasmacher, Krack, Schödlbauer, 1990*).

Von großen fachlichen Interesse war von Anfang an die Aussicht, die amtlichen trigonometrischen Netze durch GPS-Messungen zu verbessern und zu verdichten. Ein wichtiges, 1986 und 1987 unter Mitwirkung zahlreicher befreundeter Institute und der Bundeswehr durchgeführtes Projekt, mit dem dieses Einsatzgebiet vorbereitet wurde, hatte erneute Messungen im Testnetz Inntal zum Gegenstand, nunmehr mit den Geräten von Texas Instruments (TI4100) und Wild-Magnavox (WM101). Die Ergebnisse bestätigten überzeugend die bereits bei den Macrome-

termessungen 1984 festgestellte hohe Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit des GPS-Verfahrens (*Schödlbauer, Krack, Glasmacher, 1987; 1987*).
Praktische Erfahrungen beim Einsatz des GPS in der amtlichen Landesvermessung konnten in eine Reihe von Messkampagnen in Zusammenarbeit mit dem Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (1986), mit dem Bayerischen Landesvermessungsamt (Königsdorf, Chamerau, 1987, Mangfalltal, Schwabach, 1989), mit dem Vermessungsamt Starnberg (über 10 Jahre alljährlich im Rahmen der Hauptvermessungsübungen) und mit anderen Dienststellen und Instituten (Niedersachsen, 1986, Berlin, Schweiz, Wien, 1987, Grafenwöhr, 1990, Laupheim, Füssen, Hohenfels, 1993) gesammelt werden. Die in diesen Projekten gewonnenen Erfahrungen (*Schödlbauer, Glasmacher, Krack, 1988; 1989; Schödlbauer, 1990; 1991; 1993; Heister, 1993; Scherer, 1993; Krack, Bitta, 1997*) haben Eingang in das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes Forschungsvorhaben »Nutzung des Global Positioning System für die Verdichtung bestehender Lage- und Höhenfestpunktfelder unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland« gefunden, in dem einschlägige praxisorientierte Auswertemodelle entwickelt wurden. Über die Thematik der Lagevermessung hinaus wurde in dieser Untersuchung auch die Möglichkeiten der Bestimmung orthometrischer Höhen auf der Grundlage von GPS-Messungen behandelt (*Schödlbauer, 1985; 1986/2; 1987; 1990; 1991/1; 1991/3; 1993/1; 1993/2; 1997*; *Heister, Krack, Schödlbauer, 1991; Schödlbauer, Heister, Krack, 1992; Schödlbauer, Heister, Krack, Scherer, 1992; Schödlbauer, Krack, Scherer, Widmann, Beckers, 1992; Schödlbauer, Glasmacher, Heister, Krack, Scherer, 1993; Heister, Lang, Merry, Rüther, 1999; Krack, Scherer, 2001*).
Im übrigen hat die Thematik »GPS in der Landesvermessung« auch immer wieder neue Fragen aufgeworfen, etwa die der bestmöglichen Gewichtung von GPS-Beobachtungen für die Verdichtung hierarchischer Netze (*Oswald, Welsch, 1990*) und des GPS-Fehlerhaushalts (*Heister, 1996*), Fragen der troposphärischen Laufzeitkorrektion (*Hollmann, Welsch, 1990*) und der Mehrwegeausbreitung (*Heister, Hollmann, 1997*), der Praktikabilität diverser GPS-Auswertestrategien und -programme (*Borutta, Heister, 1985; Hollmann, Oswald, 1990; Hollmann, Welsch, 1990; Krack, Scherer, 1993; Krack, 1997*), oder der Beziehungen der GPS-Technologie zu anderen geodätischen Messverfahren (*Schödlbauer, 1986/1; 1990*).
Als ein für die Landesvermessung zentrales Einsatzgebiet des GPS hat sich mittlerweile die Anlage von neuen länderübergreifenden (kontinentalen) und nationalen dreidimensionalen Festpunktfeldern erwiesen. Das Institut hat sich – meist zusammen mit anderen Stellen – an zahlreichen Projekten beteiligt. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang insbesondere die folgenden Kampagnen:

- DOENAV (Deutsch-Österreichische GPS-Kampagne) – 1986
- VLBI-Basis Wettzell-Onsala – 1986
- GINFEST – 1986 (*Seeber, Schödlbauer, Glasmacher, Krack et al., 1987)*
- PRANET (Trackingstationen des PRARE-Netzes) – 1989, 1990
- EUREF (Europäisches GPS-Referenzsystem) – 1988, 1990
- DREF (Deutsches Referenzsystem) – 1991, 1995
- Festpunktfeld Ruanda – 1992
- SIRGAS (Sistema de referéncia geocéntrico para América del Sur) – 1995
- Festpunktfeld Perú – 1996

Die DOENAV-Kampagne war ein vom Institut für Erdmessung der Universität Hannover (Prof. Dr.-Ing. G. Seeber) initiiertes und organisiertes Gemeinschaftsprojekt, in dem nach dem Vorbild der 1982 durchgeführten deutsch-österreichischen Doppler-Kampagne (DOEDOC) ein deutsch-österreichisches Grundlagennetz geschaffen wurde, nunmehr unter Einsatz der GPS-Technologie (*Seeber, Schödlbauer, Glasmacher, Krack et. al., 1987*). Arbeitsgruppen aus den Universitäten bzw. Technischen Universitäten Hannover, Bonn, München, Kopenhagen und Graz, des Alfred-Wegener-Instituts Bremen, des MilGeo-Amtes in Euskirchen und des Insti-

tuts für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München haben die Feldarbeiten erledigt. Einige der beteiligten Gruppen, darunter auch das hiesige Institut, lieferten selbständige Auswertungen, aus denen ein einheitlicher Koordinatensatz exzerpiert wurde. Leider sind die von den Beteiligten an das IfAG gegebenen Beiträge (z.B. *Glasmacher, Krack, Schödlbauer: Auswertung der Beobachtungen der DÖNAV Kampagne am Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München*), die in dem vereinbarten Gemeinschaftsheft (*Die DÖNAV-Kampagne – Abschlussbericht*) zusammengefasst werden sollten, aus hier unbekannt gebliebenen Gründen nie veröffentlicht worden. Mit der Einschränkung, dass aufgrund dieses Vorgangs die übliche Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse unterblieb und den beteiligten Mitarbeitern insoweit der Lohn ihrer Arbeit vorenthalten wurde, konnten alle Beteiligten aus dem Projekt großen Nutzen ziehen. Die Erfahrungen bei der Organisation und Durchführung der Kampagne und bei der Auswertung der großen Datenmengen kamen insbesondere der nachfolgende DREF-Kampage (s.u.) zugute.

Die EUREF-Kampagne, die ein grundlegendes, in das globale IERS-Reference Frame (ITRF) eingebundenes europäisches Festpunktfeld zum Ziele hatte, wurde vom hiesigen Institut mit mehreren Beobachtergruppen unterstützt, die 1988 in Griechenland und 1990 in Island operierten. Das Festpunktfeld des EUREF überdeckt heute ganz Europa (ohne Weißrussland und Russland) und wird künftig den Rahmen für alle nationalen geodätischen Bezugssysteme bilden. Auch das DREF (s.u.) wurde in diesen Rahmen eingebunden.

Mit dem Deutschen Referenzsystem (DREF) wurde 1991 in Deutschland der Rahmen für ein modernes geodätisches Festpunktfeld geschaffen, das die auf das Deutsche Hauptdreiecksnetz und das zentraleuropäische Dreiecksnetz 1950 gestützten veralteten Bezugssysteme (Potsdam Datum und ED50) künftig ablösen wird. In der von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland getragenen und von einigen Hochschulinstituten unterstützen Projekt beteiligte sich auch das hiesige Institut. Die Mitwirkung betraf sowohl die Feldarbeiten als auch die Auswertungen. Die GPS - Beobachtungen erfolgten mit verschiedenen Empfängertypen (Trimble, Wild-Magnavoc, Texas Instruments, Ashtec und Minimac). Bedingt durch die Anzahl der verfügbaren Empfänger wurden alle Netzpunkte mit Trimble-Empfängern (Trimble-Netz) und zusätzlich mit einem anderen Empfängertyp (Mischnetz) beobachtet. Dazu wurden empfängerspezifische Teilnetze entworfen, die mit Hilfe von Überlappungspunkten rechnerisch miteinander verbunden werden konnten. Alle Netze wurden darüber hinaus streng an die übergeordneten SLR und VLBI-Stationen sowie an die vorhandenen EUREF-Punkte angebunden. Bei der Auswertung wendeten die einzelnen Rechenzentren unterschiedliche Auswertestrategien an. Die mit der Berner GPS-Auswertesoftware am hiesigen Institut berechnete Lösung (»Gesamtlösung«) lässt sich durch die gemeinsame Auswertung des Trimble-Netzes und aller Teilnetze, durch eine weitgehende Reduzierung der Parameterunbekannten und durch Beschränkung auf die »besten« Daten charakterisieren (*Krack, Scherer, Schödlbauer, 1999*).

Die Einrichtung eines grundlegenden geodätischen Festpunktfeldes in Ruanda erfolgte 1992 im Rahmen einer seit 1982 bestehenden Partnerschaft zwischen der Republik Ruanda und dem Land Rheinland-Pfalz. Die Finanzierung leistete die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Das hiesige Institut war vom federführenden Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz um Mitwirkung bei der mehrwöchigen Beobachtungskampagne und um die Auswertung der GPS-Beobachtungen gebeten worden. Ziel der Arbeiten war, das alte, vom belgischen Institut Géographique National eingerichtete und im Verlauf langjähriger nachkolonialer Unruhen weitgehend verfallene alte Festpunktfeld durch ein modernes, in den afrikanischen Bezugsrahmen des ADOS eingefügtes Punktfeld zu ersetzen (*Krack, 1993; Schödlbauer, 1994*). Details zu der in angespannter Sicherheitslage durchgeführten GPS-Messkampagne und einige fachliche Erläuterungen zur Anlage und Auswertung des Netzes finden sich in Teil 3 der vorliegenden Veröffentlichung.

Mit dem Sistema di Referéncia Geocéntrico para a América do Sul (SIRGAS) wurde 1995 in einer Gemeinschaftsaktion aller südamerikanischen Staaten mit Hilfe des GPS ein modernes geodätisches Bezugssystem für den südamerikanischen Subkontinent geschaffen. Das Unternehmen wurde bei der Planung, den Feldarbeiten und bei der Auswertung der Daten durch die US-amerikanische National Imagery and Mapping Agency (NIMA), durch das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI), das Institut für Erdmessung der Universität Hannover und das IfG-UniBwM personell und instrumentell unterstützt. Vereinbarungsgemäß übernahm das hiesige Institut die Beobachtung der für das Gebiet von Perú festgelegten Punkte.
Mit Förderung durch die Volkswagenstiftung und im Rahmen einer zwischen dem peruanischen Instituto Geográfico Nacional (IGN) und dem IfG-UniBwM vereinbarten Partnerschaft ist das SIRGAS 1996 im Staatsgebiet von Peru durch GPS-Messungen weiter verdichtet worden. Das dabei geschaffene Festpunktfeld PERÚ'96 wird künftig als nationaler geodätischer Bezugsrahmen dienen. Durch die Anbindung des neuen Festpunktfeldes an das SIRGAS wurde auch das Punktfeld PERÚ'96 in den international vereinbarten globalen geodätischen Rahmen des ITRF einbezogen. (Vergleichbar mit der Einbindung des DREF via EUREF in das ITRF, s.o.). Über den praktischen Nutzen der Erstellung eines hochgenauen großräumigen Festpunktfeldes hinaus, konnten mit dem Projekt wertvolle Erfahrungen zur Weiterentwicklung der Auswerteverfahren in regionalen Netzen gesammelt und Erkenntnisse über die Struktur der Ionosphäre in Äquatornähe gewonnen werden (*Krack, 1997*).

Inertiale Positions- und Richtungsbestimmung

Aus intertialen Navigationssystemen, die große Bedeutung in der militärischen und zivilen Luft- und Raumfahrt besitzen, wurden in den siebziger Jahren inertiale Vermessungssysteme entwickelt, die zunächst für Positions- und Azimutbestimmungen im militärischen Bereich ausgelegt waren. Weitere Modifizierungen dieser Systeme und eine Steigerung der Genauigkeit durch Verbesserungen von Hard- und Software führten dazu, dass die inertialen Vermessungssysteme bald auch im zivilen Bereich eingesetzt wurden (*Caspary 1983*).
Um Erfahrungen mit dieser für das Vermessungswesen neuartigen Technologie zu gewinnen, die erreichbare Genauigkeit zu ermitteln und zivile Anwendungsmöglichkeiten zu untersuchen, wurde in den Jahren 1983 - 1986 in Kooperation mit dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie der Universität der Bundeswehr München das Gemeinschaftsprojekt Inertialgeodäsie durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes fanden vier

Gerät	Durchführung der Messungen	Zeitraum
Farranti FILS MK II	Institut Geographique National, Brüssel, Belgien	09.10. - 19.10.1984
Honeywell GEOSPIN II	World Positioning Company, Cape Canaveral, Florida, USA	29.10. - 09.11.1984
Litton LASS II	Itech Anchorage, Alaska, USA	08.05. - 21.05.1985
Ferranti FILS MK III	UniBwM mit Unterstützung durch Ferranti, Edinburgh, UK	21.10. - 31.10.1985

Tab. 1: Übersicht über die Messkampagnen

Messkampagnen statt, bei denen die für zivile Aufgaben verfügbaren Systeme unter gleichen Bedingungen eingesetzt wurden. Zur Bereitstellung dieser Bedingungen wurden zwei Testnetze angelegt, die so beschaffen sind, dass ein breiter Bereich denkbarer Anwendungen der Inertialsysteme abgedeckt und die Genauigkeitsuntersuchungen auf eine große Anzahl fehlerfreier Punkte abgestützt werden kann. Einzelheiten zu diesen Netzen sind im Beitrag Testnetze dieses Kapitels angegeben.

Inertial-system	Ebersberger Forst				Werdenfelser Land			
	Messunsicherheit $[m]$			FG	Messunsicherheit $[m]$			FG
	u_y	u_x	u_h	f	u_y	u_x	u_h	f
FILS MK II	50	20	3		50	20	4	
GEO SPIN II	1	1	4		3	2	12	
LASS II	2	2	1		2	2	1	
FILS MK III	2	4	1		5	6	1	
FILS MK II	0,85	0,45	0,16	295	0,81	0,68	0,27	117
GEO SPIN II	0,13	0,11	0,11	288	0,27	0,27	0,33	91
LASS II	0,16	0,15	0,08	300	0,21	0,24	0,21	111
FILS MK III	0,27	0,29	0,19	160	0,51	0,45	0,44	65
FILS MK II	0,25	0,17	0,15	47				
GEO SPIN II	0,07	0,08	0,09	47				
LASS II	0,13	0,06	0,01	47				
FILS MK III	0,22	0,16	0,14	47				

Tab. 2: Ermittelte Messunsicherheit in Meter für die Echzeitposition nach etwa 10 km (oben), die im Feld abgelichenen Werte (Mitte) und die ausgeglichenen Positionen (unten)

Da Inertialsysteme in Anschaffung und Unterhaltung teuer sind, erfordert ein wirtschaftlicher Einsatz gute Planung, hohe Messgeschwindigkeit und geringe Standzeiten.
Mit Inertialsystemen können Positionsunterschiede, Azimute und Schwerewerte in einem globalen Bezugssystem gemessen werden. Bevorzugte Arbeitsweise ist es daher, von einem bekannten Punkt ausgehend, Neupunkte zu bestimmen und bei Erreichen eines weiteren bekannten Punktes die beobachtete Abweichung abzugleichen. Noch günstiger ist es, die Neupunkte netzartig untereinander und mit Festpunkten zu verknüpfen und eine abschließende Ausgleichung aller Abweichungen durchzuführen. Bei dieser Arbeitsweise treten drei Arten von Messresultaten auf (i) Länge, Breite, Höhe und Schwere in Echtzeit, (ii) die selben Größen nach Abgleich auf dem nächsten Festpunkt und (iii) endgültige Werte auf der Grundlage eines Ausgleichungsmodells unter Einbeziehung von Systemparametern und evtl. netzartiger Verknüpfung.
Die Echtzeitergebnisse der Inertialsysteme erfüllen nicht die an geodätische Punktbestimmungen üblicherweise gestellten Ansprüche. Nach etwa 10 km Entfernung vom Ausgangspunkt weist die Position mehrere Meter Abweichung auf. Nach Abgleich auf einen bekannten Endpunkt beträgt die Messunsicherheit noch einige Dezimeter und nach der endgültigen Ausgleichung etwa ein bis zwei Dezimeter. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die erzielte Genauigkeit:
Die Analyse und Bewertung der Ergebnisse sowie eine ausführliche Darstellung und Begründung der Auswertungsmodelle ist Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen:
Caspary (1985, 1987, 1989, 1990), Caspary/Borutta/König (1985), Caspary / Hein /Schödlbauer (1987), Caspary/König (1985, 1986 a, 1986 b), König (1986, 1987), Lechner (1985, 1986, 1987 a, 1987 b), Schödlbauer (1985 a, 1985 b, 1987), Schödlbauer/Lechner (1988 a, 1988 b)
Das Gemeinschaftsprojekt Inertialgeodäsie wurde mit Mitteln des BWB, Koblenz und der WBK, Bochum gefördert.

Ausgleichung heterogener Beobachtungen

Der Einsatz des Global Positioning System (GPS) erweist sich zunehmend als ein sehr ökonomisches und effektives Vermessungsverfahren. Es wird freilich nur in Ausnahmefällen alleine eingesetzt, meist sind die satellitengestützten Beobachtungen mit klassischen terrestrischen zu kombinieren. Die Schwierigkeiten einer Vereinigung der unterschiedlichen Daten liegen in der Heterogenität der einzelnen Beobachtungstypen. Als heterogen werden Beobachtungen angesehen, die sich auf unterschiedliche Referenzsysteme beziehen, die nach der ihnen immanenten Datumsinformation und nach ihren stochastischen Eigenschaften verschieden sind. Das erste Problem kann durch Abbildung der Referenzsysteme aufeinander, das zweite durch Transformation der verschiedenen Datumsräume in einen gemeinsamen, das dritte durch Schätzung der jeweiligen Varianzkomponenten gelöst werden. Das praktische Ergebnis der Untersuchungen sind Algorithmen, mit denen einerseits die heterogenen Beobachtungen miteinander kombiniert werden können, so dass ein integriertes Ergebnis vorliegt, andererseits die deterministischen und stochastischen Einzelergebnisse der unterschiedlichen Beobachtungsarten statistisch abgesichert miteinander verglichen werden können.
In einem ersten anwendungsbezogenen Aspekt des Arbeits- und Forschungsschwerpunktes wird davon ausgegangen, dass die Bezugssysteme für eine dreidimensionale hybride Ausgleichung terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen kartesischer Art seien. Ihre Unterschiede können deshalb durch Ähnlichkeitstransformationen erfasst und unschädlich gemacht werden. Divergierende Datumsfestlegungen werden durch (defekterhöhende) S-Transformationen beseitigt. Den Transformationen werden auch die jeweiligen Kovarianzmatrizen unterzogen. Im Ergebnis liegen Beobachtungen und deren Kovarianzmatrizen mit widerspruchsfreien Datumsverfügungen in einem gemeinsamen Bezugssystem vor. Sie wer-

den in einer Folgeausgleichung kombiniert, wobei die Gewichte durch Varianzkomponentenschätzungen homogenisiert werden. Dieses dreistufige Modell einer hybriden Kombination terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen für ingenieurgeodätische Anwendungen wurde von *Oswald (1992)* entwickelt. Dieser Arbeit vorausgegangen sind eine Reihe von Veröffentlichungen, z.B. Welsch (1986) oder *Oswald und Welsch (1987)* u.a., während der Beitrag von *Welsch (1993)* wesentliche Ergebnisse zusammenfasst.
In einem zweiten Aspekt des Arbeits- und Forschungsschwerpunktes wird dem Problem der genauen Bestimmung von Gebrauchshöhen mit Hilfe des GPS-Nivellements Rechnung getragen. Zu den in der ersten Arbeit genannten Problemen tritt hier das des unterschiedlichen Höhenbezugs bzw. des Einflusses des lokalen Schwerefeldes hinzu. Die Abbildung der Referenzsysteme durch Ähnlichkeitstransformationen ist deshalb mit der Schätzung von Parametern zur Beschreibung eines lokalen Geoides zu kombinieren. Die starken Korrelationen zwischen GPS-bestimmten Lage- und Höhenkoordinaten wirkt sich erschwerend, die Verfügbarkeit von apriori Informationen über den Geoidverlauf erleichternd aus. Die Grundgleichung des GPS-Nivellements $H = h + N$ kann ausgleichungstechnisch in den verschiedensten Varianten und Modellen behandelt werden. Mit den genannten Aspekten des GPS-Nivellements hat sich *Zhong (1997)* beschäftigt. Eine praktische Anwendung auf ein Ingenieurnetz wird von *Zhong et al. (1997)* dargestellt.
Eine Erweiterung des Begriffes der Inhomogenität von Beobachtungen ist zu betrachten, wenn dimensionale und physikalische Beobachtungen gemeinsam bearbeitet werden sollen. Dieser Fall tritt bei der Untersuchung dynamischer Prozesse auf, bei denen die verursachenden Größen (Eingangssignale) in der Regel nicht-geodätische Messgrößen, z.B. Niederschlag, Staudruck, Porenwasserdruck, Temperatur u.a., sind, während die resultierenden Ausgangssignale geodätisch zu ermittelnde geometrische Verformungsgrößen darstellen. Auf die Verarbeitung dieser Art inhomogener Beobachtungen wird im Arbeits- und Forschungsschwerpunkt „Deformationsmessungen und -analysen" eingegangen.

Automatisiertes Nivellement

Automatisiertes geometrisches Nivellement
Während zu Beginn der 80er Jahre in nahezu allen Bereichen des Vermessungswesen die Automatisierung des Messvorgangs, der Datenerfassung und Auswertung im Felde bereits weit fortgeschritten war, entsprach der Entwicklungsstand des geometrischen Nivellements dem der 50er Jahre. Aus diesem Grund wurden am Institut für Geodäsie der UniBwM intensive Überlegungen zur Automatisierung dieses aufwendigen Messprozesses angestellt. Wesentliche Elemente des neuen Messkonzeptes, dessen instrumentelle Entwicklung in den Jahren 1984 –1989 durch das RWE, Essen und die Dr. Johannes-Heidenhain-Stiftung, Traunreut finanziell unterstützt wurde, sind die aktive Latte mit digitalem Längenmesssystem und das Nivellier mit einer µ-Prozessor-Einheit, die sowohl die automatisierte Steuerung der Lattenzielmarke in die Horizontale als auch die Datenkommunikation zwischen Instrument und Latte sowie eine on-line Auswertung bis hin zum aufsummierten Höhenunterschied zwischen zwei Niv.-Punkten ermöglichte. Das Konzept wurde zum ersten Mal 1986 auf dem XVIII. FIG-Kongress in Toronto vorgestellt (*Caspary, Heister (1986)*). Das Funktionsprinzip kann der Skizze (Abb. 4) entnommen werden.

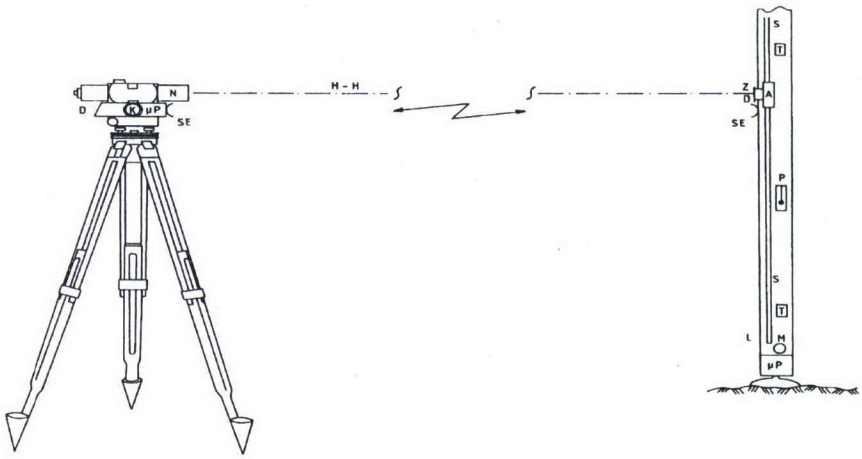

Abb 3: Prinzip des automatisierten Nivellements.

Die Entwicklung wurde bis zur Prototypenreife vorangetrieben (s. Abb. 5), wobei bereits eine menuegeführte Bedienung für den Messablauf und verschiedene Beobachtungsverfahren über eine Tastatur aktiviert werden konnte. Die Genauigkeit (Auflösung) der Höhenmessung lag bei 0.01 mm, die maximale Zielweite (begrenzt durch die Infrarotlink zwischen Instrument und Latte) bei 100 m. Somit kann diese instrumentelle Entwicklung als die erste Realisierung zur Durchführung eines automatisierten Präzisions-Nivellements angesehen werden. Eine ausführliche Beschreibung des mechanischen und elektronischen Aufbaus kann nachfolgenden Publikationen entnommen werden: *Caspary, Heister, Kurz (1986), Caspary, Heister (1988a,b), Caspary, Heister (1989).*

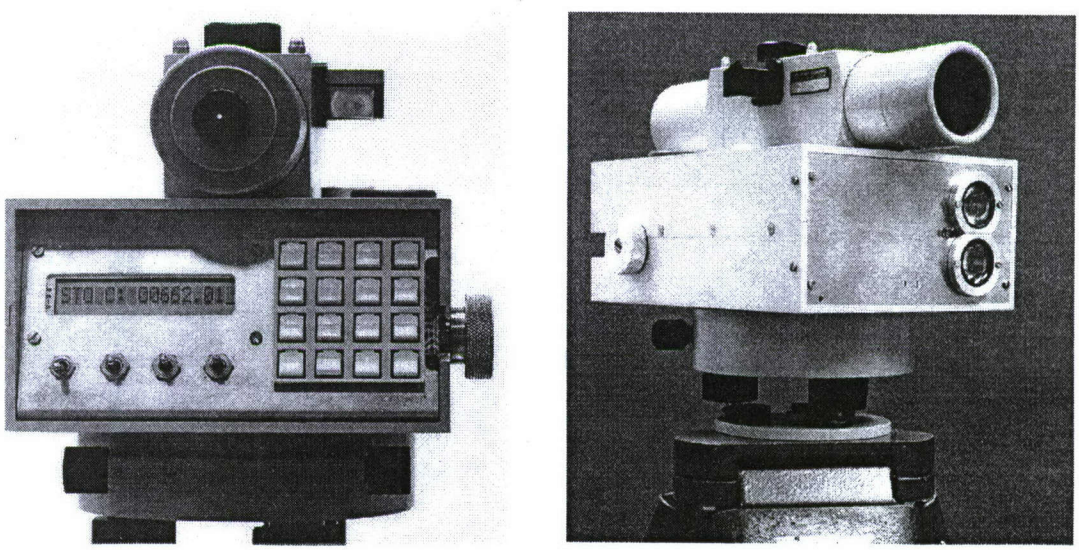

Abb. 5: Prototyp des automatisierten Präzisions-Nivelliers

Automatisiertes trigonometrisches Nivellement

Das geometrische Nivellement ist bei geringen Neigungen der Messtrasse das genaueste Verfahren zur Bestimmung von geoidbezogenen Höhenunterschieden über kurze Distanzen. Im Gebirge, wo die Messwege in der Regel stark geneigt sind, muss man Einbußen in der

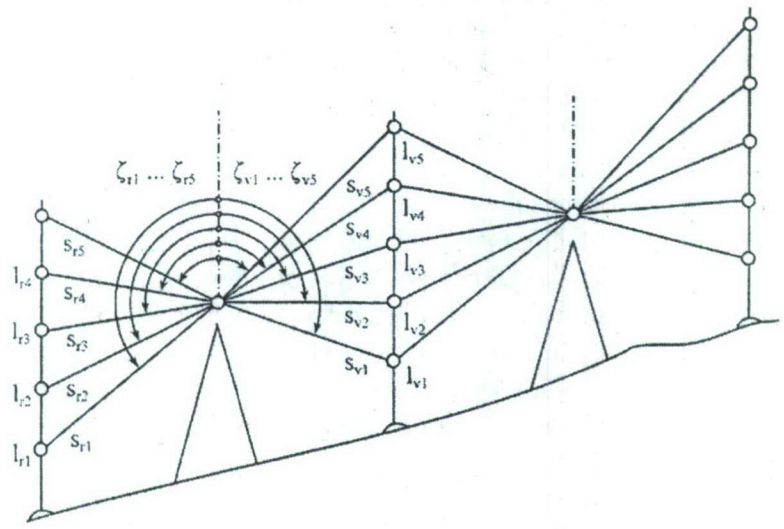

Abb. 6: Messprinzip beim erweiterten Sprungsstandverfahren

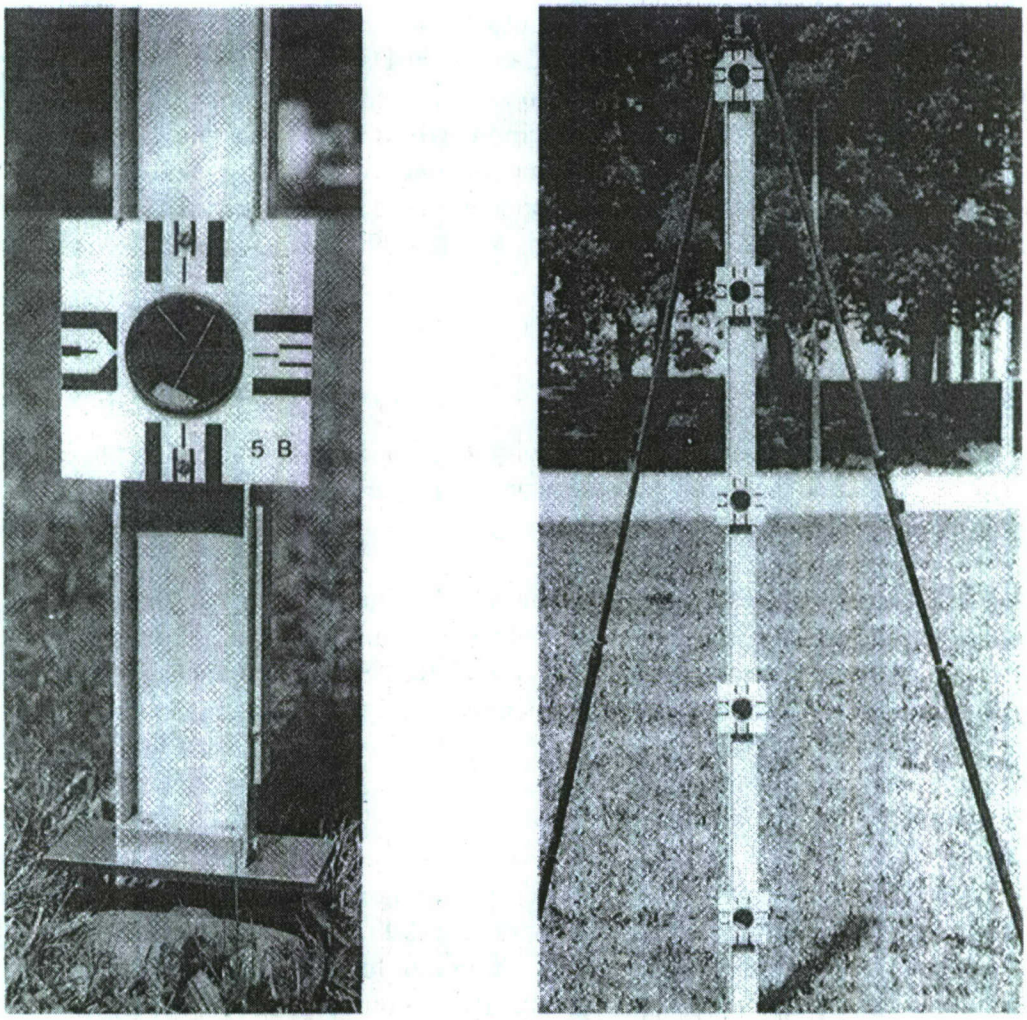

Abb. 7: Lattenkonstruktion

Genauigkeit und in der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hinnehmen. Vor diesem Hintergrund hatten Verfahren des trigonometrischen Nivellements schon seit eh und je einen festen Platz im Arsenal geodätischer Messverfahren. Als Instrumentarium werden seit der Verfügbarkeit elektronischer Tachymeter ein oder zwei Tachymeter in Verbindung mit einer oder zwei »Prismenlatten« eingesetzt. Messgrößen sind Zenitwinkel und Distanzen, aus denen Höhenunterschiede abgeleitet werden können.
Man unterscheidet beim trigonometrischen Nivellement im wesentlichen zwei Verfahren mit unterschiedlichem Messkonzept: Gegenseitig gleichzeitige Beobachtung der Zenitdistanzen und der Schrägentfernungen – das Verfahren hat sich vor allem als motorisiertes trigonometrisches Nivellement bewährt – und das Sprungstandverfahren, bei dem Zenitdistanzen und Schrägentfernungen »aus der Mitte heraus« bestimmt werden.
Im Rahmen eines von der DFG geförderten Projekts wurde ein automatisiertes Messsystem entwickelt, das der zweiten Kategorie zuzuordnen ist (*Schödlbauer, Krack, Güntsch, 1986; Krack, Schödlbauer, Widmann, 1990/1; 1990/2*). Es besteht aus einem registrierenden elektronischen Tachymeter und zwei Messlatten, auf denen in festen Abständen fünf mit Zielmarken kombinierte Retroprismen angebracht sind (Bild 7). Die Abstände der Zielmarken l_{1r} .. l_{5r} bzw. l_{1v} .. l_{5v} vom jeweiligen Lattenfuß aufgrund einer vorausgehenden Kalibrierung bekannt. Das Prinzip der Messanordnung ist in Bild 6 skizziert. Die Zielmarken werden der Reihe nach angezielt, wobei die zugeordneten Zenitdistanzen und Schrägentfernungen – ζ_{r1}/s_{r1} ... ζ_{r5}/s_{r5} und ζ_{v1}/s_{v1} ... ζ_{v5}/s_{v5} – in zwei Lagen automatisch erfasst und in digitaler Form gespeichert werden. Aus dem dabei anfallenden redundanten Datensatz erhält man im Wege einer Ausgleichung den Höhenunterschied zwischen zwei Lattenstandpunkten und durch Summation über alle Messabschnitte den Höhenunterschied zwischen zwei Festpunkten.
Da die korrespondierenden Messstrahlen unabhängig von der Trassenneigung sowohl im Rück- als auch im Vorblick etwa gleichen Bodenabstand besitzen, wird der Refraktionseinfluss weitgehend kompensiert. Die Wirtschaftlichkeit erhöht sich aufgrund der hier möglichen längeren Zielweiten.

Großräumige Trassierung

Für den Vorentwurf als Teilaufgabe einer großräumigen Trassierung für elektromagnetische Schwebebahnen und Rad-Schiene-Systeme wurde ein interaktives Arbeitskonzept entwickelt und erprobt. Zur mathematischen Trassenoptimierung wurden dynamische Verfahren angewendet.
Im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie wurden in den Jahren 1979-1981 zwei Planungsstudien erstellt, die Aufschluss über die Realisierbarkeit eines elektromagnetischen Schnellbahnsystems (EMS) und eines Rad-Schiene-Schnellbahnsystems (R/S) geben sollten. Beteiligt waren die Industrie (Krauss-Maffei AG), das Bundesbahnzentralamt München, die Ingenieurbüros G. Karner und M. Kneißl, das Institut für Mathematik und Datenverarbeitung und das Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München.
Um zuverlässige Aussagen über Investitionskosten und Umweltverträglichkeit schienengebundener Hochgeschwindigkeitsverkehrssysteme zu gewinnen, wurde die Trassierung einer Neubaustrecke zwischen Frankfurt a.M. und Paris durchgeführt und zwar bis zu einem Konkretisierungsgrad 1:25.000 für den Grundriss und 1:1000 für den Gradientenplan. Als Entwurfsgeschwindigkeiten waren 400 km/h bzw. 300 km/h festgelegt. Für beide Systeme wurde nach denselben Trassierungs-, Bewertungs- und Berechnungsverfahren vorgegangen, so dass ein objektiver Vergleich der Ergebnisse möglich wurde.
Gegenstand der Studien waren

- die Darstellung der Verkehrstechnologien EMS und R/S und die für sie erforderliche Fahrweggestaltung, deren Kenntnis für den Entwurf der Trassenführung ein notwendiges Hintergrundwissen ist,
- die Erläuterung der Trassierungselemente, die wegen der hohen Entwurfsgeschwindigkeiten einige Besonderheiten aufweisen,
- die Diskussion der für den Trassierungsprozess zu berücksichtigenden raumplanerischen und ökologischen Daten,
- Modelle für die Ermittlung der Investitionskosten für den Vorentwurf,
- Gedanken zum rechnergestützten, interaktiven Entwerfen von Verkehrswegen,
- die Entwicklung von Daten- und Datenverwaltungsstrukturen,
- die Entwicklung von Verfahren zur dynamischen Optimierung der Gradientenführung mit dem Ziel der Minimierung der Investitionskosten,
- die Auswahl möglicher Trassenkorridore und Variantennetze unter Berücksichtigung topographischer und ökologischer Randbedingungen,
- die Beurteilung der Schnellbahnwirkung im Umweltbereich ausgewählter Trassen mit dem Ziel der Minimierung von Umweltbelastungen und
- tabellarische und bildliche Darstellungstechniken im Verlauf der Untersuchungen und zur Dokumentation der Ergebnisse.

Schon während der Erarbeitung der Studien wurden grundsätzliche Arbeitsstrategien in dem Schwerpunktheft 87(1980)4 der Allgemeinen Vermessungs-Nachrichten veröffentlicht (*Caspary, Heister, Welsch, 1980a und 1980b*). Auch wurde über Erfahrungen interaktiver Trassenoptimierung von Hochgeschwindigkeitsstrecken anlässlich des VIII. Internationalen Kurses für Ingenieurvermessung berichtet (*Caspary, Heister, Welsch, 1980c*). Schließlich wurde die Vielschichtigkeit des Gesamtkomplexes in einer informativen Zusammenschau aller Teilaufgaben in einer Monographie (*Caspary und Welsch, 1982*) dargestellt. Mag auch die eine oder andere gewählte Problemlösung kritikwürdig oder verbesserungsbedürftig erscheinen, so kann doch diese umfassende Darstellung als Leitfaden für eine praxisorientierte Bearbeitung großräumiger Neutrassierungen angesehen werden.
Caspary, W., Heister, H., Welsch, W. (1980a), Caspary, W., Heister, H., Welsch, W. (1980b), Caspary, W., Heister, H., Welsch, W. (1980c), Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.) (1982)

Rezente Krustenbewegungen, Geotechnische Phänomene

Rezente Krustenbewegungen und geotechnische Phänomene sind Erscheinungen, die die Erdkruste und die Erdoberfläche verändern. Während Krustenbewegungen häufig großräumiger Natur sind, sind geotechnische Phänomene eher lokal begrenzt, insbesondere, wenn sie vom Menschen verursacht werden.
Die heute allgemein anerkannte Theorie der Plattentektonik ist Ursache und Phänomen der Geodynamik sowohl im globalen als auch im regionalen Bereich und verantwortlich für rezente Bewegungen der Erdkruste. Geotechnische Phänomene, wie Hangrutschungen, Fels- und Bergstürze, Bodensenkungen u.a., sind eher durch fortschreitende Erosion oder durch menschlicher Eingriffe verursacht. Ein bewährtes Hilfsmittel zur Überwachung derartiger Erscheinungen sind geodätische Netze. Die mathematisch-statistische Analyse ihrer Deformationen gibt Aufschluss über die zeitliche und räumliche Verteilung von Bewegungen und Verformungen. Insofern bestehen zum Arbeits- und Forschungsschwerpunkt „Deformationsanalysen" enge Wechselbeziehungen, da die dort gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar angewendet und erprobt werden können.
Theoretische Untersuchungen und praktische Analysen wurden im Rahmen folgender Aktivitäten durchgeführt:

Huaytapallana-Verwerfung und Studiengruppe „Deformation Surveys"
In den peruanischen Anden öffnete sich - verursacht durch ein Erdbeben - eine 3.5 km lange Verwerfung am Fuße der Gipfelregion der Huaytapallana-Kordillere in einer Höhe von ca. 5000 m. In Zusammenarbeit mit der University of New Brunswick, Fredericton, Kanada, wurde die Verwerfung mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) über mehrere Jahre hinweg mit Hilfe hochgenauer terrestrischer Verfahren beobachtet und überwacht (WELSCH, 1979; CHRZANOWSKI und WELSCH, 1986). Die Analyse der Beobachtungen brachte zwar keine signifikanten Veränderungen zu Tage, jedoch war das Material Anlass für eingehende Studien verschiedener geodätischer Institute im In- und Ausland, die Theorie der geodätischen Netz- und Deformationsanalyse zu erweitern, zu verfeinern und die verschiedenen Verfahren, die entwickelt worden waren, miteinander zu vergleichen (HECK et al., 1983). Die Diskussion führte 1978 zur Einrichtung der Studiengruppe 6C „Deformation Surveys" der International Federation of Surveyors (FIG), die bis heute in acht Symposien die Ergebnisse der internationalen Forschung vorstellte und veröffentlichte. Das Institut für Geodäsie hat in zahlreichen Einzelpublikationen und in den Sammelbänden „DEFORMATIONSANALYSEN" und „DEFORMATIONSANALYSEN '83" (Hefte 4 und 9 der Schriftenreihe des Studiengangs Vermessungswesen, 1979 und 1983), in dem die Vorträge entsprechender Seminare zusammengefasst sind, dazu beigetragen.

Geotraverse Antofagasta – Salta
Mitarbeiter des Instituts für Geodäsie beteiligten sich in den Jahren 1988-1990 an den Feldarbeiten der Geotraverse Antofagasta, Chile - Salta, Argentinien, im Rahmen des Forschungsprojekts „Mobilität aktiver Kontinentalränder" einer DFG-Forschergruppe der TU/FU Berlin.

Strainanalyse
Im Zusammenhang mit den dargestellten Arbeiten ist ein zweimonatiger Studienaufenthalt von Prof. Dr. W. Welsch beim US-Geological Survey in Menlo Park, Kalifornien, im Jahre 1980 zu sehen, der Anlass war zu einigen Veröffentlichungen auf diesem Gebiet (z.B. *Welsch, 1981*). Auch die Dissertation „Beiträge zum optimalen Entwurf von Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze" (*Zhang, 1987*) ist in diesem Zusammenhang zu sehen. Methoden der Strainanalyse haben sich auch bei der datumsunabhängigen Lokalisierung von Einzelpunktbewegungen in geodätischen Überwachungsnetzen bewährt.

Testnetz Pfungstadt und Höhennetz Bayern
Während das Huaytapallana-Projekt der Analyse horizontaler Krustenbewegungen diente, beschäftigte sich der Arbeitskreis „Rezente Krustenbewegungen" der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) mit der Untersuchung vertikaler Bewegungen. Vertikale Krustenbewegungen treten besonders stark durch menschliche Eingriffe (Bergbau, Ressourcenentnahme) in der oberflächennahen Erdkruste auf. Die Modellierung der durch sie verursachten Krustenbewegungen bereitet aufgrund ihrer engbegrenzten und irregulären Ausformung große Schwierigkeiten. Dies wurde am Testnetz Pfungstadt, an dessen Bearbeitung sich mehrere deutsche Institute beteiligten, deutlich. Die kinematischen Modelle, die für das Testnetz Pfungstadt entwickelt wurden, wurden in der Folge auf ein regionales Höhennetz, den bayerischen Anteil des Deutschen Haupthöhennetzes, angewendet. Dabei konnten deutlich anthropogene von tektonischen Höhenänderungen getrennt werden. Die Studie diente als Pilotprojekt für die Berechnung einer Höhenänderungskarte des gesamten deutschen Haupthöhennetzes. Die Resultate sind - unter Beteiligung des hiesigen Instituts für Geodäsie (*Kersting und Welsch, 1987 und 1990*) - in den Heften 283 und 293 der Reihe B der DGK erschienen.

Erdbeben und rezente Krustenbewegungen

Rezente Krustenbewegungen werden sehr häufig von Erdbeben ausgelöst, indem sich die horizontalen und vertikalen Verschiebungen an der Herdfläche im Hypozentrum auf das Epizentrum an der Erdoberfläche übertragen. Die Dislokationstheorie gestattet es, in einer inversen Analyse aus den geodätisch gemessenen Verschiebungen an der Erdoberfläche Rückschlüsse auf die Veränderungen an der Herdfläche zu ziehen und die sog. Herdflächenparameter zu schätzen. Die von der DFG unterstützten Arbeiten führten zu einer Dissertation (*Kersting, 1992*), aufgrund derer wiederum die Verbindung zu Wissenschaftlern des Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, Neuseeland, aufgenommen werden konnte. Die Zusammenarbeit mit ihnen ermöglichte es, ein jüngst vergangenes Erdbeben in Neuseeland mit den entwickelten verfeinerten Methoden zu analysieren und sich - wieder mit Unterstützung durch die DFG - an GPS-Messungen zur Überwachung von Krustenbewegungen in der Region Wellington zu beteiligen (*Darby und Welsch, 1994*).

Seminar „Rezente Krustenbewegungen"

Die Kenntnisse und Erfahrungen, die im Laufe der Jahre gesammelt worden waren, wurden zum Anlass genommen, ein Seminar zum Thema rezenter Krustenbewegungen zu gestalten. Neben globalen Aspekten (Evidenz, Entstehung, Modelle, Beobachtung, Analyse) wurden physikalische und geodätische Messverfahren zur Ermittlung von Spannungen und Verformungen behandelt, sowie über laufende Projekte berichtet. Die gesammelten Vorträge sind im Heft 39 der Schriftenreihe des Studiengangs Vermessungswesen veröffentlicht (*Kersting und Welsch, 1989*).

Geotechnische Probleme

Hangrutschungen, Fels- und Bergstürze unterliegen eigenen, schwer zu beschreibenden Mechanismen, die - aus geodätischer Sicht - durch nichtparametrische dynamische Deformationsmodelle dargestellt werden können. Die geodätische Aufgabe ist zunächst die Ermittlung relativer und absoluter Lage- und Höhenänderungen der potentiellen Rutschareale. Hierzu sind komplexe Beobachtungstechniken erforderlich. Die gegenwärtigen Arbeiten beschäftigen sich mit der Beobachtungsplanung und der Analyse von Beobachtungsergebnissen in interdisziplinärer Zusammenarbeit, insbesondere mit der Ingenieurgeologie. Ein Projekt beschäftigte sich mit der langjährigen Überwachung einer Brücke, die sich unter dem Druck eines Kriechhanges verformte (*Hollmann et al., 1994*). Die Beobachtung einer Hangrutschung in den Voralpen, die sich zu einem Talzuschub auszuweiten droht, ist ein weiteres Vorhaben, das in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt Rosenheim und dem Bayerischen Geologischen Landesamt durchgeführt wird (der abschließende Bericht steht noch aus). Wegen dichter Bewaldung und schwieriger topographischer Verhältnisse führen hierbei nur GPS-Beobachtungen zur Schaffung des erforderlichen Bezugssystems zum Ziel (*Welsch, 2001*). Schließlich befindet sich ein Projekt zur dynamischen Modellierung der Bewegung großer Felskörper zur Prädizierung von Bergsturzereignissen, das Projekt „Lianziya" in der VR China, das in der Vorbereitungsphase von der DFG gefördert wurde, in der Antragsphase.

Automatisiertes Alignement

Das Alignement ist ein klassisches Verfahren geodätischer Messtechnik, das darauf abzielt, Abstände und Abstandsänderungen diskreter Punkte relativ zu einer beliebig im Raum festgelegten geraden Verbindungslinie zweier Punkte zu erfassen. Neben den bekannten, optischen und mechanischen Verfahren haben sich mit der Entwicklung der Lasertechnologie zunehmend optoelektronische Messsysteme im praktischen Einsatz bewährt.

Einen umfassenden Überblick verschiedener Realisierungsmöglichkeiten des Alignements, auch unter dem Gesichtspunkt unterschiedlicher Einsatzmöglichkeiten sind in *Al Sabbagh (1981), Drude (1989) und Jakobs (1990)* dargestellt.
Angeregt durch eine konkrete Messaufgabe zur Permanent-Überwachung bestimmter tragender Konstruktionselemente eines größeren Bauwerks, wurde ein Lösungsvorschlag für ein Mehrstellenmesssystem erarbeitet, das folgenden Anforderungen genügen sollte:

- Genauigkeit < 0,5 mm,
- Reichweite < 70 m,
- 4 Messstellen mit quasi-synchroner Abtastung,
- Messbereich < ± 20 mm,
- Abtastrate 3 Hz,
- automatisierter Messablauf mit Datenregistrierung.

Unter diesen Vorgaben wurde ein automatisiertes Laser-Messsystem entwickelt, das über einen PC gesteuert wird und eine on-line Datenanalyse ermöglicht. Der schematische Aufbau ist der Abb. 8 zu entnehmen (s.a. *Caspary, Heister, Gros (1990)*). Ein 15 mW Laser erzeugt hierbei den Referenzstrahl des Alignements. Jede Messeinheit (PSD1, ..., 4) besteht aus den optischen Komponenten Strahlteiler und Sammellinse sowie einem photosensitiven Detektor - (PSD) zur Detektion des Laserstrahls. Verändert der gesamte Messkopf die Lage um DS, so kann diese Abweichung am PSD erfasst werden (ds) (s. Abb. 9). Eine Kalibrierung des gesamten Systems ermöglicht die metrisch korrekte Ableitung von DS.

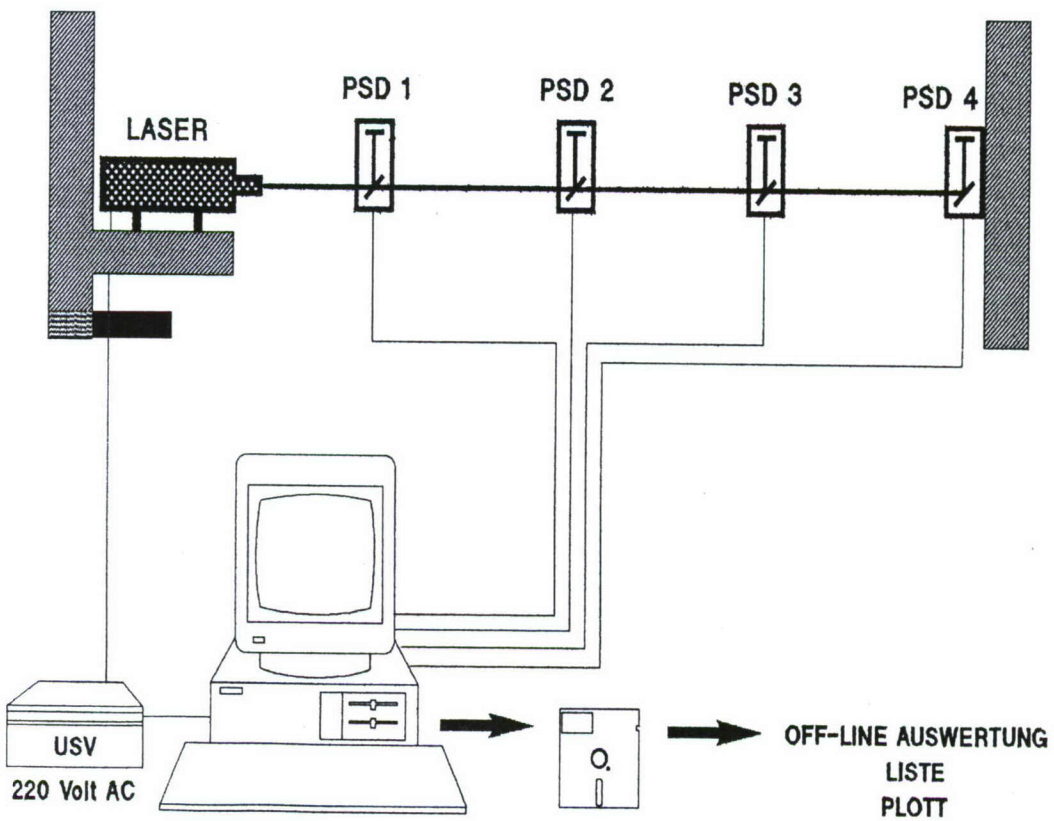

Abb. 8: Schematischer Aufbau eines automatisierten optoelektronischen Laser-Alignements

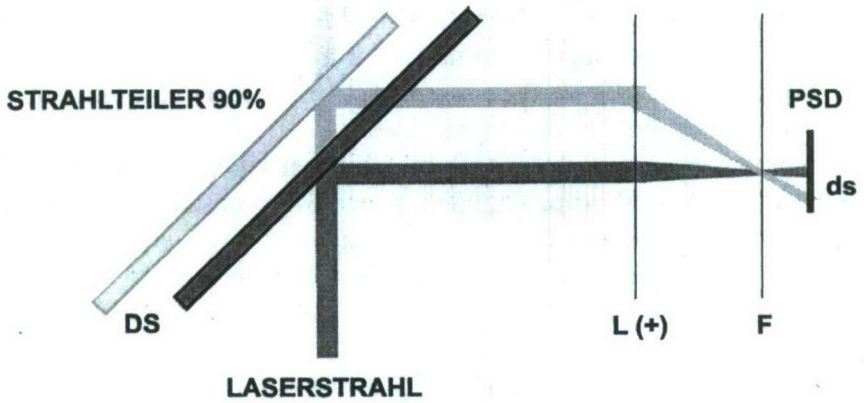

Abb. 9: Geometrische Abbildungseigenschaften des Messkopfes (PSD)

Durch eine realtime Filterung, einem gleitenden Mittelwertfilter, und einfache Tests konnte die Anzahl der abzuspeichernden Datensätze drastisch reduziert werden ohne jedoch auf die notwendigen quantitativen Messinformationen zur Aussage über signifikante Schwingungen oder Deformationen verzichten zu müssen *(Heister, 1993).*
Weitere Entwicklungen, die im wesentlichen auch auf Genauigkeitssteigerungen abzielten, wurden ab 1991 durch die Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung gefördert. Hierbei wird unter Ausnutzung des physikalischen Phänomens der Beugung die Lageänderung diskrete Punkte, realisiert durch im Laserstrahl eingebrachte Kugeln oder dünne Stäbe, aus der Änderung des Beugungsbildes abgeleitet. Dieses Konzept wurde erstmals veröffentlicht von *Griffith (1989).*
Mit den Komponenten Laserdiodenmodul, Aufweitungsoptik und CCD-Kamera zur permanenten Beobachtung des auf einer Referenzfläche erzeugten Beugungsbildes, wurde ein automatisiertes Laser-Alignement aufgebaut, das unter Ausnutzung der Mustererkennung die Bewegungsanalyse durchführt, um hieraus Lageänderungen der zu beobachtenden Punkte abzuleiten *(Caspary, Heister, Sutor (1993)).* Das System wurde als Labormuster entwickelt und erprobt. Die erzielbare Genauigkeit kann bei Entfernungen bis 100 m mit ca. 0.1 mm angegeben werden.

Al Sabbagh, A. (1981): Instrumentelle Weiterentwicklung des geodätischen Alignements zur Erfassung von Deformationsvorgängen. Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 106, Hannover, Drude, M. (1989): Entwicklung und Erprobung eines universell einsetzbaren registrierenden Alignementsystems. DGK, Reihe C, Heft Nr. 349, München, Griffith, L. (1989): The Poisson Line as a Straight Line Reference. Proceedings of the First International Workshop on Accelerator Alignement, Stanford Linear Accelerator Center, pp 263 -274, Stanford, Jakobs, M. (1990): Entwicklung eines elektro-mechanischen Aligniersystems zur messtechnischen Erfassung räumlicher Verformungszustände in der Bauüberwachung. Veröff. des Geodät. Inst. Der Rhein. Westf. TH Aachen, Nr. 46, Aachen

Geoinformationssysteme

Die Verwaltung und Nutzung von Geoinformationen in digitaler Form, die in den 70er Jahren begann, gehört zu den wichtigsten Innovationen im Bereich der Geowissenschaften. Sie führte zu internationalen und nationalen Forschungsinitiativen und schließlich zu dem eigenständigen Wissenschaftsbereich der Geo-Informatik. Den Einzug in das Vermessungswesen in Deutschland hielt die Geoinformatik mit Beginn der AdV-Projekte ALK/ALB und ATKIS seit Mitte der 80er Jahre.

Erste Arbeiten des Instituts auf diesem Gebiet begannen 1988. In einem Pilotprojekt wurden die Grundlagen zum Aufbau eines kommunalen Informationssystems untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Fragen der Genauigkeit der Datenbasis. Die Genauigkeitsanforderungen wurden analysiert, und es wurden Methoden zur Erfassung und Beschreibung der Genauigkeit entwickelt, die zu einem Qualitätsmodell für hochauflösende Geodaten führten. Die Ergebnisse wurden in *Caspary/Scheuring (1990,1992,1993)* vorgelegt und in der Dissertation *Scheuring (1995)* zusammenfassend dargestellt.
Anfang 1991 begannen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Geoinformationssysteme mittlerer Auflösung. Im Vordergrund standen zunächst Methoden der Datenerfassung und Fortführung für das Topographische Informationssystem (TOPIS) des Amtes für Militärisches Geowesen (AMilGeo). In enger Zusammenarbeit mit diesem Amt wurden Translatoren entwickelt, die die Übernahme vorhandener digitaler Geodaten in den Grunddatenbestand des AMilGeo ermöglichen.
Die Qualität der Geodaten ist ein Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts, der von der DFG und dem AMilGeo gefördert wird. Er hat einerseits zu neuen Qualitätsmodellen geführt, die für alle objektstrukturierten Geodaten geeignet sind und andererseits zu einem leistungsfähigem Programmsystem zur automatischen Prüfung der Datenkonsistenz. Zur Zeit wird an einer Erweiterung des Prüfkonzeptes gearbeitet, um es auf Datenbestände geringer Auflösung, die durch Generalisierung aus der mittleren Auflösung aufgebaut werden, anwenden zu können.
Eine zweite Entwicklungslinie hat zu Methoden für die Prüfung von Daten der Leitungsbetreiber geführt. Finanziert durch die Stadtwerke München, werden Stichprobenverfahren zur Qualitätskontrolle konzipiert, die eine rationelle Prüfung von fremddigitalisierten Daten vor der Übernahme in die Datenbasis ermöglichen. Veröffentlichungen zum Thema Datenqualität sind *Baltzer/Caspary (1992), Caspary (1992, 1993,1994), Caspary/Joos (1996,1998), Joos (1994, 1996) und Joos/Baltzer/Kullmann (1997).*
Im Jahre 1993 wurde ein Rahmenvertrag mit dem Hessischen Landesvermessungsamt über die DV-technische Zusammenarbeit beim Aufbau der ATKIS-Datenbasis geschlossen. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden Werkzeuge zur Unterstützung und Prüfung der Datenerfassung entwickelt. Es wurde an den Konzepten für die Erweiterung und Fortführung der Datenbasis gearbeitet, und zur Zeit werden in einer Studie die Bedingungen zur Integration von Erweiterungsdaten in die Datenbasis untersucht.
Die beste Strategie zur Arbeit mit aktuellen Geodaten ergibt sich, wenn Änderungen im Datenbestand dort eingearbeitet werden, wo sie entstehen. Dazu wurde die geographische Festlegung von Schutzgebietsgrenzen als eine Komponente in den Geschäftsprozess zur Ausweisung von Schutzgebieten eingebunden. Nach einer Prototypentwicklung wurde für den dabei erforderlichen Mehrfachzugriff und die Archivierung bestimmter Stadien im Auftrag des Thüringer Landesverwaltungsamtes zusammen mit R+S Consult ein Konzept entwickelt und realisiert.
Die Integration von Daten, die verschiedenen Quellen entstammen, bereitet eine Vielzahl von Problemen. Neben den Unterschieden in den Datenmodellen und in der Auflösung basieren sie häufig auf unterschiedlichen Bezugssystemen, deren Parameter unbekannt sind. Für das Bundesamt für Naturschutz wurden in einer umfangreichen Studie die Fragen untersucht, die bei der Zusammenführung verschiedener geodätischer Bezugssysteme auftreten und es wurden strenge Lösungen für die Datenintegration erarbeitet: *Voser (1995, 1996).*
Die Datenbereitstellung im Internet/Intranet und die multimediale Präsentation von Geodaten sind das gemeinsame Thema weiterer Arbeiten. Neben dem Entwurf eines Intranet für die Direktion für Ländliche Neuordnung, München, wurde ein Prototyp für die multimediale Präsentation von aktuellen geographischen Informationen für das AMilGeo entwickelt. Methoden zur dreidimensionalen Darstellung der Topographie einschließlich Bewuchs und Bebauung auf der Basis von VRML wurden ausgearbeitet. Sie wurden im Rahmen eines Projektes für das AMilGeo für den Aufbau eines Prototyps eingesetzt und werden zur Zeit weiterent-

wickelt. Mit derselben Technologie wird ein Forschungsprojekt mit Förderung durch die EU bearbeitet. Zusammen mit Partnern wird der interaktive multimediale Wanderführer AIDA (Alpine Guide Italia Deutschland Austria) für ausgewählte Gebiete in den Alpen entwickelt. Forderung der EU ist es, zum Aufbau dieses internetfähigen Führers amtliche Geodaten verschiedener europäischer Länder zu integrieren.
Um die GIS-Aktivitäten auf eine breitere Basis zu stellen, wurde 1997 die Arbeitsgemeinschaft Geographische Informationssysteme (AGIS) als gemeinsame Forschungseinheit der Institute für Geodäsie und für Landmanagement und Geoinformation gegründet.
Baltzer (1994), Caspary (1995), Koppers (1998), Mösbauer/Caspary (1998).

GPS in der Ingenieurvermessung

Wie in der Landesvermessung (siehe Nr. 2.18) hat das Global Positioning System (GPS) auch in der Ingenieurvermessung das Arsenal der eingesetzten Beobachtungsverfahren um eine überaus leistungsfähige Komponente erweitert (*Welsch, 1993/4; 1993/5; 1993/7; 1995/1; 1995/7; Hollmann, Welsch, 1994; Schödlbauer, 1997/1; 1997/2*). Mit Hilfe des GPS können – wesentlich einfacher als bei den erdgebundenen trigonometrischen Verfahren, die Sichtverbindungen voraussetzen – durch kurzzeitige synchrone Aufnahme der Satellitensignale auf mindestens zwei Stationen die geodätischen Koordinaten eines Festpunktfeldes bestimmt und vorausberechnete Punkte abgesteckt werden. In der Regel müssen die GPS-Messungen durch erdgebundene Ergänzungsmessungen ergänzt werden, etwa für örtliche Anschlussmessungen oder bei Absteckungen unter Tage.
Im Rahmen der GPS-Arbeiten des Instituts sind Festpunktfelder für folgende Bau- und Bauüberwachungsmaßnahmen erstellt und in einigen Fällen in wissenschaftliche Untersuchungen einbezogen worden:

- beim Bau von Tunnels und Stollen
- beim Neubau und Ausbau von Eisenbahnstrecken
- bei der Überwachung von Staumauern.

Tunnel- und Stollenvermessungen
Bei Tunnel- und Stollenvermessungen zielt der Einsatz des GPS in erster Linie auf die Bestimmung der Koordinaten von portalnahen Festpunkten in einem einheitlichen, für die gesamte Baustelle maßgeblichen Bezugssystem. Ein solchermaßen mit höchstmöglicher Genauigkeit bestimmtes geodätisches Festpunktfeld ist die Voraussetzung dafür, dass die von beiden Tunnelportalen aus vorgetriebene Tunnelbohrung im Rahmen der vorgegebenen Bautoleranzen auf ein und denselben Durchschlagspunkt ausgerichtet werden kann. Das Hauptinteresse der GPS-Vermessung gilt dabei meist den geometrischen Beziehungen »der Lage nach«, die in »Lagekoordinaten« einfließen. In Projekten jedoch, in denen die Portalpunktfelder (»Portalnetze«) nicht durch ein Nivellement verbunden werden können, etwa im nachfolgend beschriebenen Tunnelprojekt »Großer Belt«, wo die beiden Portalnetze durch einen Meereskanal voneinander getrennt waren, können durch Verfahren des GPS-Nivellements (siehe Nr. 2.20) auch (orthometrische) Höhenunterschiede bestimmt werden, die für die Tunnelabsteckung ebenso bekannt sein müssen, wie die Lagebeziehungen.
Das größte Tunnelprojekt, für das vom hiesigen Institut durch GPS-Messungen die geodätischen Grundlagen gelegt wurden, war das Eisenbahntunnel unter dem Großen Belt. Der mit vier Bohrgeräten vorgetriebene Tunnel verbindet seit 1997 die durch den östlichen Arm des Großen Belt voneinander getrennten Inseln Sjælland und Sprogø und hat eine Länge von 8 km (siehe nachfolgende Kartenausschnitte der Abb. 10).
In dem Projekt wurde – zur Kontrolle und ergänzend – neben dem GPS ein vielfältiges konventionelles geodätisches Instrumentarium eingesetzt: Triangulation, elektrooptische Entfer-

nungsmessungen, geometrische Nivellements, hydrostatisches Nivellement, Zenitdistanzmessungen, Kreiselmessungen, astronomische Azimut und Breitenbestimmungen. Im einzelnen sind folgende (z.T. auch von den örtlichen Vermessungstrupps sowie von anderen Instituten und Firmen durchgeführte) Arbeiten zu erwähnen:

- Der Aufbau eines Lagefestpunktfeldes durch Kombination des GPS mit Triangulation und elektrooptischer Entfernungsmessung
- Wiederholungsmessungen zur Erfassung von Lage und Höhenänderungen der Festpunkte
- Kalibrierung der eingesetzten Vermessungskreisel in den Portalnetzen und Übertragung der durch die Portalnetze vorgegebenen Orientierung in das Innere der Tunnelröhren
- Höhenübertragung über den Meeresarm durch GPS-Nivellements und einem hydrostatischen Nivellement.

Die beim Durchschlag erzielte Genauigkeit von wenigen Zentimetern in Lage und Höhe lag deutlich unter der vorgegebenen Toleranz von 10cm. Das Projekt gab Anlass zu einer Reihe von Veröffentlichungen (*Schödlbauer, 1991/1; 1993/1; 1997/1; 1997/2; Schödlbauer, Heister, Krack, 1992; Schödlbauer, Heister, Krack, Scherer, 1992; Schödlbauer, Krack, Scherer, Widmann, Beckers, 1992.*)

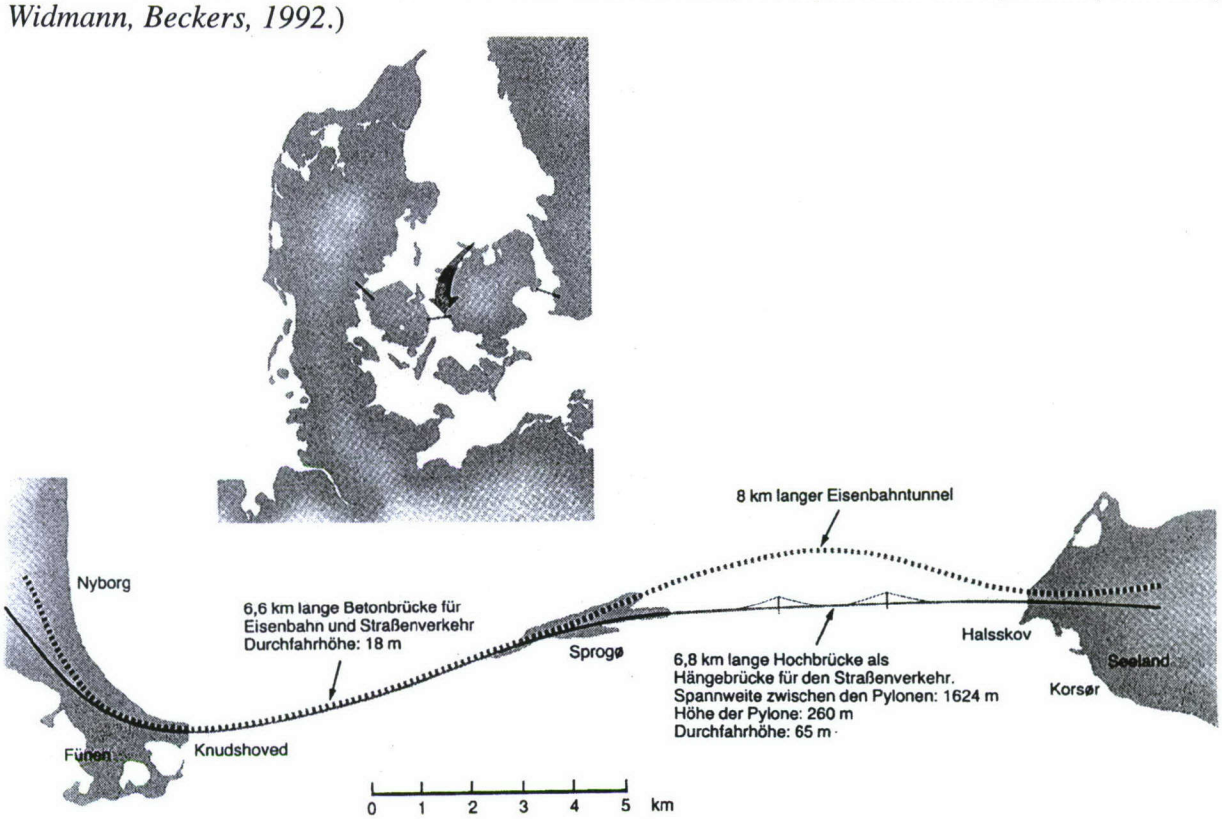

Abb. 10: Eisenbahntunnel zwischen Sjælland und Sprogø (Großer Belt)

An weiteren Tunnel und Stollenprojekten, für die von hiesigen Institut durch GPS - Beobachtungen die erforderlichen Grundlagen und Portalnetze eingerichtet wurden, sind zu nennen: Tunnel zur Ortsumgehung in Farchant (bei Garmisch-Partenkirchen), Trinkwasserstollen der Münchner Wasserwerke im Mangfalltal sowie zwischen Großhesselohe und Pullach (bei München).

Staudammüberwachungen
In kleinenräumigen GPS-Netzen spielen die störenden Einflüsse der Atmosphäre kaum eine Rolle, wodurch das in geometrischer Hinsicht hohe Genauigkeitspotenzial des GPS-Verfahrens in derartigen Projekten fast vollständig ausgeschöpft werden kann. Vor diesen Hintergrund darf man bei der GPS-gestützten Überwachung der Stabilität von Staudämmen höchste Sensibilität erwarten. Diese Erwartung hat sich bei der Überwachung des Rauschenbach-Staudammes (Sachsen), in dem GPS und terrestrische Messverfahren miteinander kombiniert wurden, überzeugend bestätigt (*Hollmann, Welsch, 1992/1; 1992/2; Welsch, 1992/1; 1993/1; Welsch, Heunecke, Kuhlmann, 2000*).

Grundlagenvermessungen für den Bau von Eisenbahnen und Straßen
Die weitgehende Unabhängigkeit von Sichtverbindungen zwischen den Festpunkten und von der Form des Festpunktfeldes zeichnet das GPS-Verfahren bei der Vermessung von Straßen- und Eisenbahntrassen vor allen terrestrischen Verfahren (Triangulation, Trilateration) aus. Aufgrund dieses Vorzugs hat sich das GPS-Verfahren bei der Vorbereitung und geodätischen Begleitung in diesen Einsatzgebieten zum Standardverfahren entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere für die Deutsche Bahn eine ganze Reihe größerer Arbeiten durchgeführt. Am Anfang stand eine umfangreiche Untersuchung, mit der die grundsätzliche Eignung des GPS-Verfahrens für Bahnvermessungen festgestellt werden sollte. Dieses Experiment, das 1989 und 1990 auf dem Bahngelände zwischen München-Hauptbahnhof und München-Pasing durchgeführt wurde, verlief erfolgreich und war Grundlage für die Vergabe zahlreicher weiterer Projekte, insbesondere die Einrichtung von Festpunktfeldern für DB-Neu- und Ausbaustrecken: Mühldorf - Garching a. d. Alz (1990), Mühldorf (1991), Erfurt-Halle/Leipzig, München-Ost – Markt Schwaben, München - Nürnberg, Halle - Sangershausen, Halle - Eisleben, Wolkramshausen - Erfurt (1992), Erfurt - Halle/Leipzig (1993), München - Rosenheim - Salzburg (1994), Ingolstadt - Treuchtlingen, Otting - Treuchtlingen (1995), Neumarkt/St.Veit - Passau (1996).

GPS-Nivellement

Die Verknüpfung von GPS-Messungen mit Nivellements, Zenitdistanzmessungen oder astronomischen Azimut, Längen- und Breitenbestimmungen liefert Informationen über die geometrischen Beziehungen zwischen den örtlichen Geopotentialflächen und dem den GPS-Auswertungen zugrunde liegenden Bezugsellipsoid. Sobald diese Beziehungen mit ausreichender Genauigkeit bekannt sind, kann das Global Positioning System (GPS) als ein Instrument der Höhenübertragung eingesetzt werden, das sowohl ellipsoidische als auch geoidbezogene (z.B. orthometrische) Höhenunterschiede liefert (GPS-Nivellement).
Mit Hilfe des GPS gewinnt man für die beobachteten Punkte primär dreidimensionale cartesische Koordinaten X, Y, Z und die entsprechenden Koordinatenunterschiede ΔX, ΔY, ΔZ. Aus diesen Größen können bei Vorgabe eines Bezugsellipsoids geographische Koordinaten B und L, ellipsoidische Höhen h und Höhenunterschiede Δh, ellipsoidische Zenitdistanzen z und ellipsoidische Azimute A berechnet werden, die bei der Kombination von GPS mit anderen Verfahren als Bezugswerte dienen können.
In den folgenden Abschnitten werden die drei in Projekten des Instituts angesprochene Verfahren skizziert, mit denen das Problem der lokalen Geoidbestimmung gelöst wurde: GPS + Nivellement, GPS + gegenseitig gleichzeitige Zenitdistanzmessungen und GPS + astronomische Längen (Azimut) und Breitenbestimmung.

GPS + Nivellement
Durch ein geometrisches Nivellement gewinnt man Höhenunterschiede ΔH, die sich auf eine ausgewählte Äquipotentialfläche beziehen. Aus differentiellen GPS-Messungen fließen, wie

bereits erwähnt, bei Vorgabe eines Bezugsellipsoids ellipsoidische Höhen h und Höhenunterschiede Δh. Vergleicht man nun für Punkte, die sowohl im GPS erfasst, als auch in ein Nivellement einbezogen wurden, die GPS-bestimmten Δh und die nivellitisch gewonnenen ΔH, so liefert ihre Differenz den für den betreffenden Vertikalschnitt maßgeblichen Anstieg ΔN der Äqpotentialfläche:

$$\Delta N = \Delta h - \Delta H. \tag{1}$$

Die auf diesem Weg für ein ganzes Punktfeld gewonnenen Werte ΔN beschreiben punktweise die Topographie ein örtliches Geoids. Durch eine geeignete Interpolationsfläche lässt sich dieses Geoid auch analytisch beschreiben. Im Definitionsbereich der Interpolationsfläche kann so für jeden beliebigen Punkt das entsprechende ΔN angegeben werden. Wird nun, nachdem die Geoid-Höhenunterschiede ermittelt wurden, mit dem GPS der ellipsoidische Höhenunterschied Δh zu einem Neupunkt bestimmt, so lässt sich aus diesem Ergebnis durch Umkehrung von (1) der gesuchte orthometrische Höhenunterschied ableiten:

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N. \tag{2}$$

(Auf die Unterschiede, die sich aus unterschiedlichen Definitionen von Höhensystemen – orthometrische Höhen, Normalhöhen – wird hier nicht näher eingegangen).
Im einfachsten Fall erfolgt die Beschreibung des örtlichen Geoids durch eine Fläche zweiter Ordnung:

$$\Delta N = q_x\, x + q_y\, y + q_{xx}\, x^2 + q_{xy}\, x\, y + q_{yy}\, y^2. \tag{3}$$

Um die fünf Koeffizienten q_x, q_y, q_{xx}, q_{xy}, q_{yy} zu bestimmen, die diese Fläche beschreibenden, sind insgesamt mindestens fünf (nicht in einer Linie liegende) Stützstellen (Messpunkte) erforderlich.

GPS + gegenseitig-gleichzeitige Zenitdistanzmessungen

Bei dem auf Zenitdistanz-Messungen gestützten GPS-Nivellement-Verfahren werden aus den dreidimensionalen GPS-Koordinaten die für ein Punktepaar geltende auf die Ellipsoidnormalen bezogene Zenitdistanz z bestimmt. Die aus der gegenseitig gleichzeitigen Zenitdistanzmessung mit einem Theodoliten fließende Zenitdistanz ζ hingegen ist lotorientiert. Die Differenz

$$\mu = z - \zeta \tag{4}$$

liefert die im Vertikalschnitt der beiden Punkte auftretende Lotabweichung.
Da die Lotabweichungen nichts anderes darstellen, als die auf den Punktabstand Δs bezogenen Änderungen der ΔN, erhält man durch partielle Ableitung von (3)

$$\begin{aligned} -\mu &= \frac{\partial \Delta N}{\partial x} \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}s} + \frac{\partial \Delta N}{\partial y} \cdot \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}s} \\ &= (q_x + 2\, q_{xx}\, x + q_{xy}\, y) \cdot \cos A + (q_y + q_{xy}\, x + 2\, q_{yy}\, y) \cdot \sin A. \end{aligned} \tag{5}$$

Auch hier können mit mindestens fünf Messungen die fünf Geoidparameter q_x, q_y, q_{xx}, q_{xy}, q_{yy} angegeben werden. Mit diesen Koeffizienten kann sodann nach (3) für jeden beliebigen Punkt innerhalb des durch die Stützpunkte eingegrenzten Punktfeldes der Geoid-Höhenunterschied ΔN berechnet und jedem neuen, durch GPS-Messungen gewonnenen Δh nach (2) ein orthometrischer Höhenunterschied ΔH zugewiesen werden.

GPS + astronomische Lotrichtungsbestimmung

Wie das vorausgehende stützt sich auch dieses Verfahren der lokalen Geoidbestimmung auf »gemessene« Lotabweichungen. Wertet man die Positionsbestimmung mit dem GPS, durch die für einzelne Punkte bzw. Punktepaare B, L und A gewonnen werden, und die astrogeodätischen Verfahren der Lotrichtungsbestimmung, aus denen die Lotrichtungen _ und λ und an astronomisch Nord ausgerichtete Azimute a fließen, in ein und demselben erdfesten Bezugssystem aus, so beschreiben die Differenzen der korrespondierenden Größen die drei Komponenten der Lotabweichung, nämlich

$$\begin{aligned} \xi &= \varphi - B && = \text{Lotabweichung in Breite,} \\ \eta &= (\lambda - L)\cdot \cos B && = \text{Lotabweichung im Ersten Vertikal und} \\ \varepsilon &= a - A && = \text{azimutale Komponente der Lotabweichung,} \end{aligned} \qquad (6)$$

wobei zwischen η, ξ und ε noch der einfache Zusammenhang

$$\eta = \frac{\varepsilon - \xi \sin A \cot \xi}{(\tan B - \cos A \cot \xi)}$$

(= Laplace-Gleichung) besteht.

Die Bestimmungsgleichungen der Geoidparameter q_x, q_y, q_{xx}, q_{xy} , q_{yy} lauten in diesem Fall

$$\xi = \frac{\partial \Delta N}{\partial x} = q_x + 2\ q_{xx}\ x + q_{xy}\ y \qquad (7)$$

$$\eta = \frac{\partial \Delta N}{\partial y} = (q_y + q_{xy}\ x + 2\ q_{yy}\ y).$$

Die vorgestellten, zunächst theoretisch entwickelten Verfahren des GPS-Nivellements wurden beim Bau eines Eisenbahntunnels zwischen den dänischen Inseln Sjælland und Sprogø praktisch eingesetzt. Wesentliches Ziel der Vermessungsarbeiten war es, den für den Tunnelbau als Sollwert der Absteckung unter Tage erforderlichen orthometrischen Höhenunterschied zwischen den beiden Portalnetzen durch GPS zu bestimmen. (Die alternativ möglichen Verfahren – das hydrostatische Nivellement und die trigonometrische Höhenübertragung – wurden aus Kosten- bzw. aus Genauigkeitsgründen nicht in Betracht gezogen). Aus den GPS-Nivellements in den Portalnetzen konnte die durchschnittliche Neigung des Geoids in der Richtung der Tunneltrasse (ca. 30cm auf 7km) bestimmt und auf dieser Grundlage aus dem GPS-bestimmten ellipsoidischen Höhenunterschied zwischen den beiden Portalnetzen auf den gesuchten orthometrischen Höhenunterschied geschlossen werden. (*Schödlbauer, Heister, Krack, 1992; Schödlbauer, Heister, Krack, Scherer, 1992; Schödlbauer, Glasmacher, Heister, Krack, Scherer, 1993; Schödlbauer, 1997/1; 1997/2*). Das nachfolgende Diagramm (Abb. 11), in dem die Messprinzipien der drei eingesetzten Verfahren des GPS-Nivellements (GPS + geometrisches Nivellement, GPS + Messung von Zenitdistanzen, GPS + astronomische Breiten- und Azimutbestimmung) skizziert sind, soll die Zusammenhänge veranschaulichen.

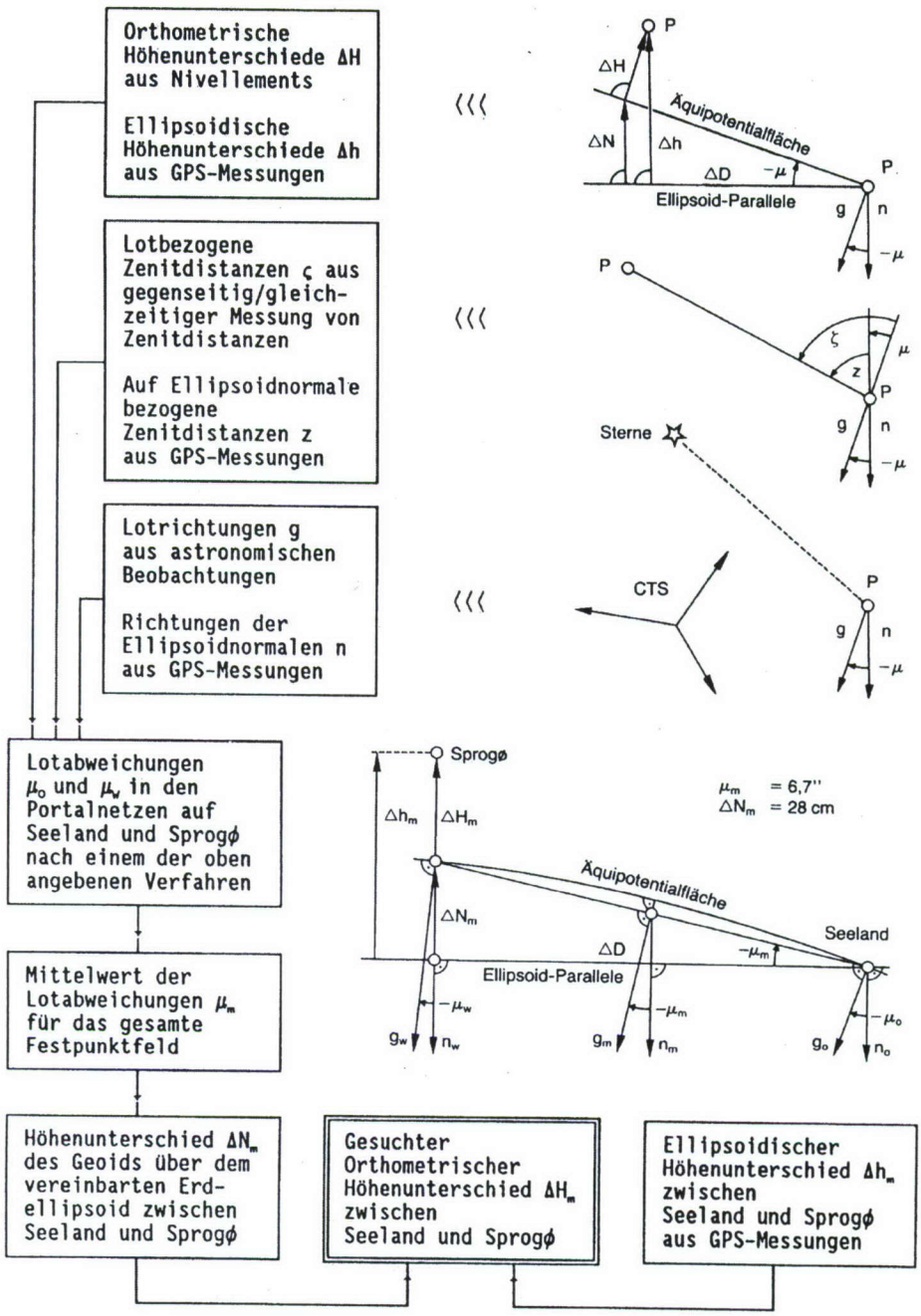

Abb. 11: Verfahren des GPS-Nivellements (GPS + geometrisches Nivellement, GPS + Messung von Zenitdistanzen, GPS + astronomische Breiten- und Azimutbestimmung) zur Bestimmung des Höhenunterschieds zwischen den Portalnetzen auf den Inseln Sjælland und Sprogø (Dänemark)

Mittlerweile wurden die Verfahren des GPS-Nivellements in etlichen anderen Projekten eingesetzt, etwa bei vergleichenden Höhenbestimmungen im Höhentestnetz der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) in Rheinland-Pfalz (*Schödlbauer, Krack, Scherer, Widmann, Beckers, 1992*), zur flächenhaften lokalen Geoidbestimmung im Testnetz Inntal (*Krack, Scherer, 2001*) und im Rahmen der bayerischen Landesvermessung (*Schödlbauer, 1993/2;*) sowie zur Ermittlung eines Höhenprofils im Okawango-Delta (*Heister, Lang, Merry, Rüther, 1999*).
In allen Verfahren der Höhenbestimmung bestimmt das vorgegebene Höhensystem die zur Reduktion der Messgrößen auf Höhenkoten notwendigen Reduktionsalgorithmen. In einer Reihe

von Beiträgen wurden die zwischen den geoidbezogenen Höhensystemen der amtlichen Landesvermessung – orthometrische Höhen und Normalhöhen – und den aus Satelliten-, inertialen und photogrammetrischen Messverfahren fließenden ellipsoidischen Höhen dargestellt und erörtert (*Schödlbauer, 1985; 1986/2; 1987; 1990; 1991/1; 1991/3; 1993/1; 1993/2; Heister, Krack, Schödlbauer, 1991; Institut für Geodäsie, 1993*).

Kinematische Messverfahren

Die Genauigkeitssteigerungen von für die Navigation entwickelten Sensoren und das seit den 80er Jahren verfügbare Globale Positionierungssystem (GPS) haben neue Möglichkeiten der kinematischen Vermessung eröffnet. Seit 1990 wird im Institut an Konzepten und Systemen zur präzisen kinematischen Vermessung von Verkehrswegen gearbeitet. Mit Förderung durch die Deutsche Bundesbahn wurden verschiedene Sensoren hinsichtlich ihrer Eignung für die Erfassung der Ist-Geometrie der Gleise untersucht und ein Konzept zur kinematischen Aufmessung aller im Gleisbereich vorhandenen Objekte erarbeitet. Effiziente Verfahren zur Rekonstruktion der Trassierungsparameter aus der als Messergebnis vorliegenden dichten Punktkette sind im Rahmen dieser Arbeiten entstanden.

In Zusammenarbeit mit GeoDigital, Düsseldorf, werden seit 1994 von der Arbeitsgruppe Integrierte kinematische Vermessung (ikv) Systeme entwickelt, mit denen Straßen einschließlich aller in einem 50m breiten Korridor vorhandenen Objekte kinematisch aufgenommen werden können. Unter der Systembezeichnung KiSS™ (Kinematic Survey System) wurde ein Fahrzeug mit einem inertialen Navigationssystem, einer GPS-Antenne, einem optischen Wegsensor, einem Barometer und einem CCD-Kamerapaar ausgestattet. Die Integration der Sensoren, die Kalibrierung des Systems und die Synchronisation der Signale waren Schwerpunkte der hardwarenahen Entwicklungsarbeit. In Abbildung 12 ist der äußere Aufbau des Messsystems auf der Basis eines VW-Busses erkennbar.

Abb. 12: Messfahrzeug

Komplexe Auswertemodelle auf der Basis der Kalman-Filter-Technik führen die Signale zusammen und liefern nach einer Messfahrt die hochgenaue Trajektorie sowie die Orientierung des Fahrzeuges im Raum. Diese dient der Auswertung der Folge von Stereobildpaaren als äußere Orientierung und ermöglicht so die Positionierung aller sichtbaren Objekte in einem übergeordneten Koordinatensystem.

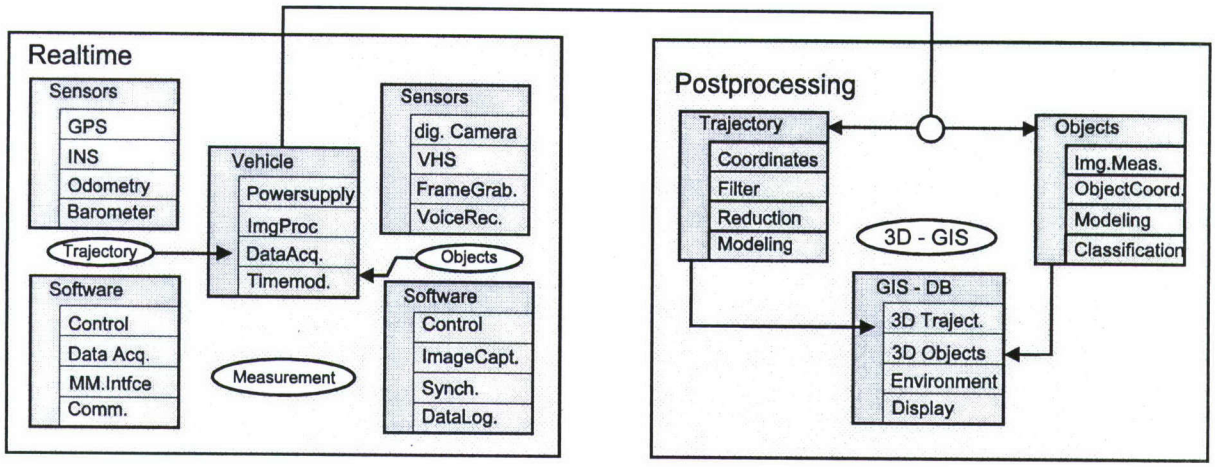

Abbildung 13: Design des Kinematischen Vermessungssystems KiSS

Abbildung 13 zeigt in Form eines Blockdiagramms die Komponenten des Gesamtsystems, bestehend aus einem in Echtzeit operierenden Messwerterfassungs- und Aufnahmesteuerungssystems und einem davon unabhängigen Auswertesystem.
Beim derzeitigen Entwicklungsstand kann die Achse der aufgenommenen Verkehrswege mit einer Messunsicherheit von 30 - 50 cm bestimmt werden. Die relative Genauigkeit der photogrammetisch ausgewerteten Objekte liegt bei etwa 5 cm. Diese hohe Genauigkeit wird durch ein mehrstufiges Auswertekonzept möglich, das robust in Bezug auf Signalausfälle und grobe Sensorfehler ist.
Abbildung 14 zeigt ein typisches mit den CCD-Kameras aufgenommenes Stereobildpaar in dem die Objekterkennung und -positionierung erfolgt.

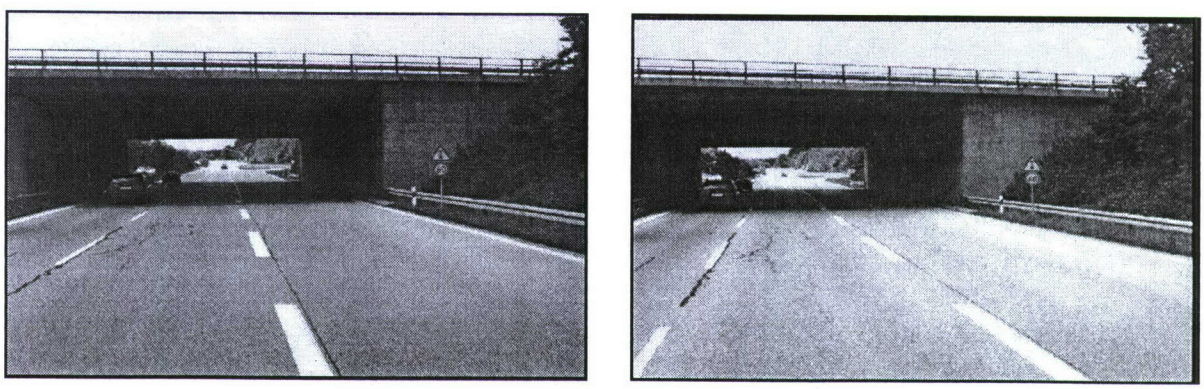

Abbildung 14: Mit dem KiSS aufgenommenes Stereobildpaar

Ausführliche Beschreibungen des KiSS und der Signalverarbeitungsmodelle sind veröffentlicht in:
Heister, .H, Caspary W., Hock, Chr., Klemm J., Sternberg H (1995), Caspary W., Heister H., Klemm J., Sternberg H (1997), Sternberg H., Caspary W., Heister H (1998), Klemm J., Caspary W., Heister, H. (1997)

Neue Konzepte der Geodätischen Astronomie

Mit der Aufnahme von Satellitensystemen, insbesondere des Global Positioning System (GPS), in das Arsenal geodätischer Messwerkzeuge hat sich die Funktion der Geodätischen Astronomie grundlegend geändert: Die Astronavigation und etliche andere Aufgaben, insbesondere im Zusammenhang mit der Einrichtung trigonometrischer Netze, sind weggefallen. Hingegen hat die Bestimmung der Lotrichtung zur Erfassung der Topographie des Geoids erheblich an Bedeutung gewonnen. Motor für diese Entwicklung sind das GPS und andere Satellitensysteme, deren geodätisches Potential sich bei Kenntnis der Detailstruktur des Geoids beträchtlich vergrößert .

Der derzeit laufende Anpassungsprozess an die neuen Entwicklungen ist von tiefgreifenden Veränderungen der theoretischen und empirischen Grundlagen sowie von neuen technologischen Möglichkeiten geprägt: Neudefinition zälestischer und terrestrischen Bezugssysteme und Bezugsrahmen, Einführung dynamischer und atomarer Zeitskalen, relativistische Phänomene, hochgenaue globale Verfügbarkeit der Koordinierten Weltzeit, CCD-Technologie.

Die anstehenden Fragen wurden unter dem Titel *Geodätische Astronomie – Grundlagen und Konzepte* in einem durch den Verlag Walter de Gruyter realisierten Buchprojekt bearbeitet (*Schödlbauer, 2000*). In dem 649 Seiten umfassenden Werk wird der Stand der Wissenschaft beschrieben und zukunftweisende Aspekte der gegenwärtigen Entwicklung erörtert. Im einzelnen werden folgende Gegenstände behandelt:

1 Zielsetzung und Grundbegriffe
Hauptaufgabe · Anwendungsbereiche · Himmelskugel · Trigonometrische Formeln.

2 Die Bewegungen der Erde und der Gestirne und andere Effekte, die die scheinbaren Örter der Gestirne beeinflussen
Aufbau des Universums · Erddrehung · Umlauf der Erde um die Sonne · Präzession und Nutation · Eigenbewegungen der Fixsterne · Aberration · Relativistische Lichtablenkung · Parallaxen · Astronomische Einheiten · Refraktion.

3 Bezugssysteme und Bezugsrahmen
Drehungen · Bezugssysteme · Koordinatentransformationen · Bewegungsperspektive · Zälestische und terrestrische Bezugsrahmen.

4 Die scheinbaren Örter der Gestirne
Erddrehung · Umlauf der Erde um die Sonne · Präzession und Nutation · Eigenbewegung · Polbewegung · Refraktion.

5 Zeitsysteme
Uhren · Sternzeit, Sonnenzeit · Dynamische Zeit · Atomzeit · Koordinierte Weltzeit · Kalender, Zeitrechnung · Zeitübertragung und Zeitverteilung.

6 Erdrotations- und Zeitdienste IERS · BIH

7 Sternkataloge, Jahrbücher, Bulletins, Karten

8 Beobachtungsinstrumente und -modi
Das klassische optisch-mechanische Instrumentarium · Zenitteleskope und -kammern · Radiointerferometer · Zeiterfassung und Zeitregistrierung.

9 Beobachtungsverfahren
Lokale Zeithaltung · Azimutbestimmung · Breitenbestimmung · Längenbestimmung · Simultane Längen- und Breitenbestimmung.

10 Quellenverzeichnis
Literatur · Sternkataloge · Jahrbücher, Sternatlanten · Stichwörter · Autoren.

Ein in Teil I des vorliegenden Heftes abgedruckter Beitrag ist den Zukunftsaussichten der Geodätischen Astronomie gewidmet (*Schödlbauer, 2000*).

Literatur · Sternkataloge · Jahrbücher, Sternatlanten · Stichwörter · Autoren.

Ein in Teil I des vorliegenden Heftes abgedruckter Beitrag ist den Zukunftsaussichten der Geodätischen Astronomie gewidmet (*Schödlbauer, 2000*).

Habilitation und Dissertationen

Hansbert Heister

Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmessinstrumente
(Habilitationsschrift)

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 27, 1988

Aufgrund der in allen Zweigen der Geodäsie zu beobachtenden Steigerung der Genauigkeitsforderungen gewinnt die Kalibrierung von Messgeräten ständig an Bedeutung. Hierbei geht es häufig nicht nur um die Überprüfung der technischen Spezifikationen, sondern vielmehr auch um die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Genauigkeit serienmäßiger Instrumente durch die Bestimmung signifikanter systematischer Fehleranteile. Heute ist durch den Einsatz der Mikroelektronik nahezu jeder Automatisierungsgrad bei den verschiedenen Kalibrierungstechniken erreichbar; dies ermöglicht die Entwicklung wirtschaftlicher und schneller Prüfverfahren.
Große Bedeutung kommt den geodätischen Längenmessinstrumenten zu. Es war schon immer Ziel der Geodäten, den absoluten Längenmaßstab in der Natur zu verifizieren; so versuchte man bereits in den 30er Jahren durch Anwendung der Interferenzmesstechnik und Streckenmultiplikation eine Basis mit hoher Genauigkeit abzuleiten. Der VÄISÄLÄ-Interferenzkomparator stellte die bedeutendste Entwicklung auf diesem Gebiet dar; man erreichte hiermit Basislängen von 864 m, wobei bereits Genauigkeiten von $1 \cdot 10^{-7}$ angegeben wurden.
Heute geht man ausschließlich den Weg der Längenübertragung; dabei werden möglichst genau kalibrierte elektromagnetische Distanzmesser zur direkten Messung langer Strecken eingesetzt.
Für die labormäßige Überprüfung sind Laserinterferometer als digitale Messsysteme nicht mehr wegzudenken. Da jede Kalibrierung eine Sonderaufgabe darstellt, geht es einerseits darum, eine realistische Bestimmung und Abschätzung systematischer und zufälliger Abweichungen durchzuführen, andererseits Wege für eine universelle Kalibriereinrichtung zu entwickeln so, wie sie mit dem 30-m-Longitudinalkomparator des Instituts für Geodäsie an der Universität der Bundeswehr verwirklicht wurden. Ein von äußeren Störeinflüssen möglichst isolierter Unterbau, eine hochgenaue kontinuierliche Führungseinrichtung, wie sie die Luftlagertechnik heute bietet, und ein klimatisiertes Umfeld sind wesentliche Voraussetzung zur Erzielung genauer Messwerte. Verschiedene Adaptionseinrichtungen, Positionier- und Justierelemente ermöglichen große Vielseitigkeit und zuverlässige Funktionsfähigkeit über längere Zeiträume. Modulare Elektronik mit genormten Schnittstellen und umfassende Software in Standardsprachen helfen durch eine problemorientierte Verknüpfung die individuellen Kalibrieraufgaben rationell lösen.
Schwierigkeiten bestehen nach wie vor bei der Maßübertragung, insbesondere bei der Strichabtastung aber auch bei der Bestimmung des integralen Refraktionsindexes. Für eine zukünftige Verbesserung scheinen die bereits in der Robotik bewährten Systeme der digitalen Bildverarbeitung geeignet zu sein. CCD-Sensoren erfassen - mit wesentlich mehr Informationsgehalt als das photoelektrische Mikroskop - in 1.024 ×1.024 Rasterelementen (Pixels) mit 256 Graustufen das Bild von Skalenstrichen. Prozessoren mit speziellen Programmen zur Kantendetektion können dann in Echtzeit die Strichmittenfestlegung durchführen. Oder es besteht - falls pathologische Striche vorliegen - die Möglichkeit, das gesamte Strichbild abzuspeichern und in einem interraktiven Arbeitsgang nach Beendigung des dynamischen Kalibrierprozesses einer endgültigen Auswertung und Beurteilung zu unterziehen.

Multicolor Interferometrie zur absoluten Distanzmessung wird zu einer Verbesserung der Vergleichsgenauigkeit beitragen. Aber auch Vorschläge, wie sie zur Erfassung der integralen

Temperatur der Atmosphäre mit Ultraschall gemacht wurde, sind gerade in Laborräumen mit nicht so aufwendiger Klimatisierung zur Bestimmung der repräsentativeren Luftwellenlänge des Laserstrahls verfolgenswert.
Heute sind solche Messeinrichtungen allerdings nur wenigen Hochschulinstituten und Forschungslabors der Industrie zugänglich. Die Entwicklung von miniaturisierten Halbleiterlaser-Interferometern und der Einsatz von PCs als Controller dürfte jedoch eine preisgünstigre Lösung und damit weitere Verbreitung ermöglichen.
Wenn eine hardwaremäßige Trennung der Aufgaben bei der Laborautomation bis vor wenigen Jahren aus Kostengründen kaum möglich war, so scheint eine Segmentierung zukünftig tragbar; so ist heute mit einer durchdachten Hardware-Struktur ein wesentlich größerer Aufgabenbereich - auch unter Berücksichtigung automatischer Prüfvorgänge - abzudecken. Geht man von verschiedenen Leitebenen aus, denen wohldefinierte Aufgaben zugewiesen werden, dann lässt sich hieraus ebenfalls eine generelle Hardwarestruktur ableiten (s. Abb.: 15).

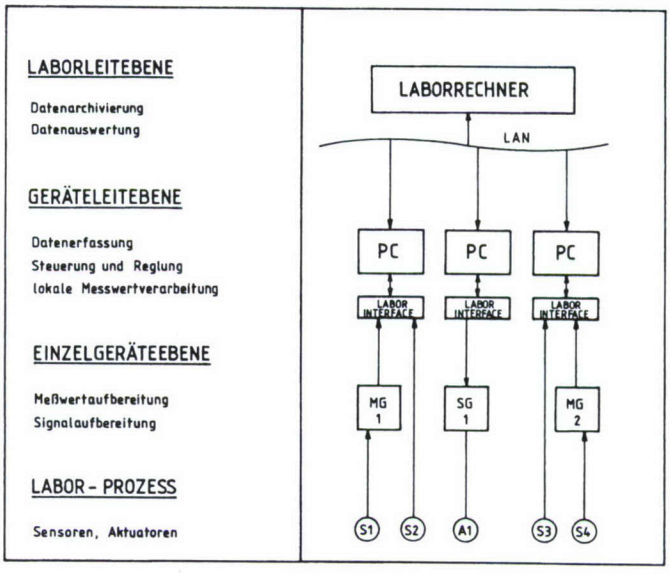

Abb. 15: Hardware-Strukturierung in den verschiedenen Leitebenen

Auch in geodätischen Laboren wird diese Strukturierung infolge der Vielzahl von Gerätetypen sowie des steigenden Automatisierungsgrades grundsätzlich von Bedeutung sein. Zukünftig wird es nicht nur um die automatische Längenkalibrierung von Strichmaßen und EDM-Geräten gehen, sondern auch um Winkelmesssysteme wie elektronische Theodolite, digitale Neigungsmesser; zusätzlich werden eine Vielzahl von Sonderinstrumenten, an die oft hohe Genauigkeitsforderungen gestellt werden, für den Feldeinsatz zu kalibrieren sein. Generell wird aber der Umstand von großer Bedeutung sein, dass sowohl Hardware als auch Software schnell veralten und im Abstand von wenigen Jahren durch leistungsfähigere Computersysteme aber auch intelligentere Sensoren ersetzt werden können.

Axel Geiger

Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 8, 1982

Der Neigungstisch ist hauptsächlich für die Kalibrierung von Libellen jeglicher Art (Flüssigkeitslibellen, elektronische Neigungsmesser) und von Kompensatoren in Nivellieren und Theodoliten gedacht. Für die Kompensatoruntersuchungen ist der Neigungstisch speziell mit einer Instrumentenaufnahme und einem Kollimator ausgestattet. Der Neigungstisch ist so konzipiert, dass alle Arten von Neigungsmessungen, sowohl relativ als auch absolut, durchgeführt werden können. Der Neigungsbereich ist besonders groß dimensioniert worden (~ ± 2 gon - wahlweise auch ~ ± 4 gon), um auch Instrumente, die große Neigungen zulassen, in ihrem gesamten Arbeitsbereich kalibrieren zu können.
*Abb. 6: Schematischer Aufbau eines automatisierten optoelektronischen Laser-Alignements*Die Bestimmung der Neigungen wird auf die interferometrische Messung von Wegunterschieden zurückgeführt. Dazu wird ein Laserinterferometer von Hewlett Packard, Typ „Laser Transducer System 5501" verwendet. Durch dieses Lösungsprinzip, das einen sehr einfachen mechanischen Aufbau ermöglicht, können die Schwierigkeiten vermieden werden, die bei den herkömmlichen Libellenprüfern die Genauigkeit und besonders den zulässigen Neigungsbereich beschränken.
Um die angestrebte Genauigkeit einer Neigungsmessung von ± 0,01 mgon für den gesamten Messbereich zu realisieren, muss der Neigungstisch sorgfältig justiert werden. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei der Abstand zwischen den zwei Reflektoren, der den Maßstab der Nei- gungsmessung festlegt. Für die Bestimmung dieses Abstandes wurden zwei unabhängige Messverfahren entwickelt.
Alle zufälligen und systematischen Fehlereinflüsse werden eingehend analysiert, um zu einer realistischen Schätzung der Genauigkeit der Neigungsmessungen zu gelangen. Es ergab sich die Standardabweichung einer Neigungsmessung von ± 0,01 mgon für einen Neigungswinkel α von ~ ± 1 gon.
Durch den Einbau eines Schrittmotors und weitere konstruktive Maßnahmen kann der Arbeitsbereich ohne Genauigkeitsverlust auf ± 2 gon erweitert werden. Durch eine Serie praxisnaher Anwendungen wurde die Leistungsfähigkeit des neuen Neigungstisches verifiziert.
Als erste Anwendung wurde ein photoelektrischer Autokollimator von Rank, Taylor, Hobson, Typ TA 53, kalibriert. Die Ergebnisse der Kalibrierungsmessungen zeigen, dass die Abweichungen von der Linearität der Kennlinie geringer sind als vom Hersteller angegeben. Bei Verwendung eines Maßstabsfaktors kann die Genauigkeit noch gesteigert werden.
Des weiteren wurden drei elektronische Neigungsmesser (zwei SCHAEVITZ, Typ LSRP und eine TESA, Typ Minilevel) kalibriert. Sie wurden ausgewählt, da sie über relativ große Messbereiche und hohe Auflösungen verfügen. Die Messungen hatten zum Ziel, die Kennlinie und die Messgenauigkeit zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigten, dass die untersuchten Neigungsmesser nur in einem Teil ihrer Messbereiche linear arbeiten. Wenn größere Neigungen gemessen werden, muss die Nichtlinearität der Kennlinie berücksichtigt werden.
Von je einem der vier gebräuchlichsten Sekundentheodoliten Zeiss Th2, Jenoptik Theo 010A, Wild T2 und Kern DKM2-A wurden mit Hilfe des Neigungstisches die Kompensatorfehler bestimmt. Entsprechend der wichtigsten Fehlerursachen wurden diese in Kompensationsfehler, Umkehrspanne und Einspielfehler eingeteilt. Die Messungen ergaben keinerlei signifikante Kompensatorfehler.

Mit dem neuen Präzisionsneigungstisch steht ein geodätisches Prüfinstrument zur Verfügung, das sich in jeder Hinsicht bestens bewährt hat. Wegen seiner hohen Genauigkeit und seines großen Messbereiches lassen sich mit dem Neigungstisch alle derzeit bekannten Instrumente, die Winkel oder Neigungen < 2 gon messen, einfach, schnell, zuverlässig und präzise kalibrieren.

Peter Schwintzer

Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 12, 1984

Gemischte Modelle sind zur Analyse geodätisch gemessener Punktdeformationen hervorragend geeignet. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass neben den deterministischen Parametern Zufallsparameter auftreten, deren Erwartungswerte a priori als bekannt vorausgesetzt werden. Darüberhinaus müssen a priori Annahmen über die gegenseitigen Korrelationen der Zufallsparameter getroffen werden. Im Unterschied zu dem Kollokationsmodell schließen gemischte Modelle auch den Fall verschwindender Korrelationen ein. Dieser Fall ist bedeutsam, da das Ziel der Analyse in einer optimalen Filterung der Beobachtungen und nicht in der Prädiktion von Zufallsgrößen liegt. Die Erweiterung des Analysemodells um einen Vektor von Zufallsgrößen soll die unregelmäßigen Punktbewegungen oder die Modellrestfehler, die sich einer deterministischen Beschreibung entziehen und die auch nicht durch die Messungenauigkeit erklärt werden können, berücksichtigen. Diese Modellrestfehler können sowohl bei einer Generalisierung mittels eines Approximationsmodells als auch bei einer Einzelpunktanalyse ohne deterministischen Modellanteil auftreten.
Zur Vorbereitung der Ausgleichung mit gemischten Modellen werden zunächst verschiedene Wege für die Ableitung der Schätzfunktionen aller im Modell auftretenden unbekannten Größen aufgezeigt, wobei sich unterschiedliche Aspekte für die Interpretation der Größen und für die Programmierung ergeben. Ausführlich wird auf die Behandlung von Rangdefekten insbesondere im stochastischen Teil des Modells eingegangen, da dieses Problem in der Deformationsanalyse von großer Bedeutung ist. Datumsdefekte in den Netzausgleichungen führen zu singulären Kofaktorenmatrizen der in die Folgeausgleichungen zur Deformationsanalyse als Beobachtungen eingeführten Punktkoordinaten. Es wird gezeigt, in welcher Weise der Vektor der Zufallsparameter in dem gemischten Modell transformiert werden muss, um den bei einem Rangabfall implizit im Koordinatenvektor enthaltenen Bedingungen Rechnung zu tragen. Daneben werden die Unterschiede zwischen dem Gauß-Markoff-Modell und dem gemischten Modell sowohl analytisch als auch in vereinfachter Form geometrisch herausgearbeitet. Schließlich werden die grundlegenden Beziehungen zwischen den quadratischen Formen der in dem gemischten Modell auftretenden Größen sowie die Erwartungswerte und die Verteilungen dieser quadratischen Formen abgeleitet.
Zur Analyse der zwischen zwei Beobachtungsepochen aufgetretenen Punktverschiebungen in einem Zweiepochenmodell sind neben der Schätzung der deterministischen Parameter einer generalisierenden Approximationsfunktion davon abweichende große Einzelpunktverschiebungen zu lokalisieren und die Varianzkomponenten zu schätzen, mit denen die Korrelationsmatrix der Zufallsparameter in die Varianz-Kovarianz-Matrix überführt werden kann. Die Korrelationsmatrix der Zufallsparameter muss a priori mittels geeigneter Korrelationsfunktionen oder als Diagonalmatrix aufgestellt werden. Die vom Generalisierungsmodell abweichenden Einzelpunktverschiebungen werden analog der Suche nach Ausreißern bei geodätischen Messreihen mittels statistischer Testverfahren lokalisiert. In der weiteren Behandlung festgestellter Einzelpunktverschiebungen ergeben sich, je nachdem, ob die Kofaktorenmatrix der

Koordinatenunterschiede regulär oder singulär ist, Unterschiede. Die Varianzkomponenten für die Zufallsparameter werden iterativ geschätzt, wobei auf die aus der Literatur bekannten Verfahren zurückgegriffen werden kann. An den Varianzkomponenten kann die Größenordnung der unregelmäßigen Modellrestfehler abgelesen werden. Da sich Einzelpunktlokalisierung und Varianzkomponentenschätzung gegenseitig beeinflussen, sind diese Schritte eventuell mehrmals zu durchlaufen. Abschließend werden die Parameter der generalisierenden Funktion auf Signifikanz untersucht. Bei dem gewählten Verfahren der Cholesky-Zerlegung mit Pivotsuche wird die quadratische Form der Parameter in unkorrelierte Anteile zerlegt. In einem multiplen statistischen Test wird anschließend die Parameterkombination ausgewählt, die modellrelevant ist. Die Vorgehensweise bei der Zweiepochenanalyse beinhaltet als Sonderfall die Einzelpunktanalyse in einem Modell ohne deterministischen Anteil. Die sich dabei ergebenden Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vergleich mit der gebräuchlichen Methode der Klaffungszerlegung werden herausgearbeitet.
Die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Beobachtungsepochen in einem gemeinsamen Auswertemodell (Mehrepochenanalyse) erlaubt die Modellierung zeitlicher Bewegungsabläufe. Methodisch ergeben sich hinsichtlich der Vorgehensweise bis zur endgültigen Modellfindung gegenüber der Zweiepochenanalyse keine grundlegenden Erweiterungen. An die Stelle der Tests zur Einzelpunktanalyse treten bei der Mehrepochenanalyse jedoch die Modelltests zur Lokalisierung der von dem Generalisierungsmodell abweichenden Beobachtungsepochen. Sind die einzelnen Beobachtungsepochen gegenseitig unkorreliert, so ergeben sich erhebliche rechentechnische Vorteile, wenn statt einer Ausgleichung in einem Guss die Parameter sequentiell geschätzt werden. Dabei auftretende Parallelen zur Kalman-Filterung, wo ebenfalls ein gemischtes Modell benutzt wird, werden aufgezeigt.
An drei numerischen Beispielen wird der Ablauf der Berechnungen und der statistischen Tests bei verschiedenen Deformationsanalysen demonstriert. Die Zweiepochenanalyse wird auf ein zweidimensionales simuliertes Netz mit simulierten Deformationen und auf ein dreidimensional gemessenes Talsperrenüberwachungsnetz angewendet. Für die Mehrepochenanalyse werden die Höhenbeobchtungen von sechs Beobachtungsepochen des Talsperrenüberwachungsnetzes herangezogen. Die Ergebnisse zeigen die Wirksamkeit der vorgestellten Ausgleichungs- und Teststrategien.

Wilfried Ellmer

Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 26, 1987

In dieser Arbeit wurde deutlich gemacht, dass eine Interpretation geodätischer Messungen hinsichtlich der Ursache-Wirkungsbeziehungen nicht nur dem Auftraggeber hilft, die Messergebnisse richtig und sinnvoll zu verwenden. Auch dem Vermessungsingenieur selber hilft sie, seine Messungen besser zu beurteilen. Es wurden Modelle vorgestellt, die es mit verhältnismäßig geringem Aufwand ermöglichen, gemessene Deformationen zu analysieren, wenn Messdaten der Größen vorliegen, die die Deformation verursachen.
Bevor die Systemmodelle im einzelnen dargestellt wurden, war erst eine Einführung in die Theorie der diskreten linearen zeitinvarianten Systeme notwendig. Diese baut auf gründlichen Begriffsdefinitionen auf, da die Begriffe in der Literatur teilweise mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet werden. Es wurden Eigenschaften der Systemmodelle aufgeführt und verschiedene Möglichkeiten, ein System darzustellen. Die verschiedenen Darstellungsformen betreffen zwar dasselbe Modell, sind aber wegen ihrer unterschiedlichen Aussagekraft je nach dem Zweck der Analyse auszuwählen.

Es wurden verschiedene Modelle aufgeführt, mit denen ein vorliegendes gemessenes System identifiziert werden kann. Sie eignen sich für solche Systeme, in denen die Antwort nicht nur unmittelbar auf einer Änderung einer Eingangsgröße folgt, sondern sich auch über einen längeren Zeitraum erstreckt. Das Übertragungsverhalten wird als linear und weitgehend stationär angenommen, es wird also davon ausgegangen, dass sich die Parameter eines linearen Systemmodells nicht mit der Zeit ändern. Da es keine allgemein verwendbaren Modelle gibt, wurden hier diejenigen ausgewählt, die dem Verhalten des gemessenen Objektes und dem Zweck der Identifikation am besten entsprechen.
Es wurden zwei Stufen einer Berechnung aufgezeigt: Zunächst müssen die gemessenen Daten für die Systemidentifikation vorbereitet werden. Dieser Schritt muss bereits mit großer Sorgfalt erfolgen, wenn nicht der Informationsgehalt der Messung gemindert werden soll. Der Schwerpunkt der Ausführungen lag in der Erzeugung der Gleichabständigkeit der Messdaten. Aber auch wenn die Daten bereits gleichabständig aufgenommen wurden, wird es in den meisten Fällen der geodätischen Deformationsanalyse nötig sein, Datenlücken zu füllen oder unter Umständen sogar einzelne Messwerte für eine bestimmte Berechnung zu ersetzen, wenn sie so auffällig von den anderen als der untersuchten Einflussgröße verändert sind, dass sie die spätere Parameterschätzung verfälschen, z.B. Ausreißer.
Die zweite Stufe ist die eigentliche Modellrechnung. Je nach dem angestrebten Ziel erfolgt die Bearbeitung der einzelnen Signale getrennt (Signalanalyse) oder gemeinsam in einem Systemmodell. Die Signalanalyse wird benötigt, um eine erste grobe Information über das Systemverhalten zu bekommen. Oft ist sie auch eine Hilfe für die weitere Analyse. Das Systemmodell dagegen ermöglicht es erst, die Anteile verschiedener Ursachen aus der Deformationsmessung herauszufiltern.
Die Parameter des dargestellten verallgemeinerten Regressionsmodells haben keine direkte physikalische Bedeutung. Dennoch ist klar zu erkennen, dass die geschätzten Modellparameter einer bestimmten Gesetzmäßigkeit folgen. Damit ist eine Hilfe gegeben, die ursprünglich unbekannte Modellordnung zu ermitteln.
Aus den gemessenen Zeitreihen des Grafenrheinfelder Turbinentisches wurden Systemmodelle gerechnet; die Ergebnisse wurden ausführlich dargestellt und kommentiert. Mit Hilfe der in der Systemidentifikation geschätzten Parameter lassen sich aus anfallenden Deformationsmesswerten die Außentemperaturanteile relativ einfach abspalten. Die Restwerte sind geeignet, um Unregelmäßigkeiten im Betriebsablauf festzustellen, die entweder vom Fundament herrühren oder sich darauf auswirken. Es ist jedoch wichtig, von Zeit zu Zeit die Koeffizienten zu überprüfen, vor allem aber in dem Moment neu zu bestimmen, in dem durch zusätzliche Einbauten oder auf andere Weise die Temperaturübertragung im Maschinenhaus geändert wird.
Für eine bessere Interpretation der berechneten Ergebnisse wäre es sicher sinnvoll, weitere Größen zu registrieren, die sich auf die Temperaturübertragung auswirken, z.B. Änderungen in der Belüftung der Halle oder im Bereich der Dampf- und Kühlwasserzufuhr.
Die Art der Datenaufzeichnung hat sich als günstig herausgestellt. Es hat sich gezeigt, dass sich Datenlücken ohne große Schwierigkeiten überbrücken lassen. Auch an der Abtastrate sollte nichts geändert werden; eine Verringerung auf zwei Messungen pro Tag oder weniger hätte zur Folge, dass wegen der Schwingungen mit der Periode eines Tages der wirkliche Bewegungsverlauf falsch rekonstruiert würde (Verletzung des Abtasttheorems), es würden beispielsweise Schwingungen vorgetäuscht, die am Turbinentisch nicht existieren.

Was die Auswertungen selbst betrifft, so ist eine Verbesserung der Modelle vor allen Dingen durch die Hinzunahme weiterer Eingangsgrößen-Messungen, insbesondere der Maschinenleistung, möglich. Eine Änderung der Leistung bewirkt unmittelbar eine Torsion des Turbinentisches. Durch Berücksichtigung dieser Messgröße würden vor allem Spitzen aus dem Datenmaterial und damit auch aus der Residuenreihe der Systemidentifikation verschwinden.

Für die praktische Anwendung dynamischer Modelle, auch auf die vorliegenden Messdaten, ist es wichtig, Verfahren zu entwickeln, die auch nichtgleichabständige Daten verarbeiten können. Gerade im Falle geodätischer Deformationsmessungen sowohl im technischen wie auch im geophysikalischen Bereich sind gleichabständige Daten über eine größere Anzahl von Epochen nicht zu erwarten. Oft ist es auch gar nicht sinnvoll, eine Gleichabständigkeit anzustreben. Besser ist es, die Auswertemethoden auf die praktischen Erfordernisse abzustellen.
Zur Fortführung der Arbeit bieten sich Kalman-Filter an. Sie dienen zunächst nicht der Identifikation des Systems; vielmehr muss das Übertragungsverhalten in Form der in einer Systemidentifikation geschätzen Parameter bereits bekannt sein. Kalman-Filter sind in der Lage, auch in nichtstationären Systemen Zustandsgrößen zu schätzen.

Hans Glasmacher

Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 29, 1987

Für die verschiedenen Rechenaufgaben mit Gaußschen Ellipsoid-Koordinaten sind Algorithmen zusammengestellt worden, die bei Verwendung von programmierbaren Computern unter verschiedenen Gesichtspunkten optimale Eigenschaften haben. Ansatzpunkte waren dabei die konsequente Verwendung der Arithmetik der komplexen Zahlen sowie verschiedener numerischer Näherungsverfahren.
Dabei hat sich gezeigt, dass die klassischen Lösungsansätze mit Taylor- und Trigonometrischen Reihen in komplexer Arithmetik durchaus computergerecht formuliert werden können, selbst wenn für die numerische Rechnung eine Trennung der reellen und imaginären Anteile notwendig sein sollte. Die Trigonometrischen Reihen haben dabei den Vorteil, das Ellipsoid „im Ganzen" abzubilden.
Die Anwendung numerischer Integrationsverfahren erfordert die Verwendung der Komplexen Breite, zu deren Berechnung neben Lösungen über die Komplexe Länge auch eine direkte numerische Integration angegeben wird. Die numerischen Verfahren bilden ebenfalls das Ellipsoid „im Ganzen" ab. Außerdem lassen sie durch einfachen Austausch der Differentialquotienten die Berechnung verschiedener konformer Abbildungen auch auf anderen Bezugsflächen zu. Es werden mindestens ein Verfahren für Bestimmte Integrale und eines für Anfangswert-Aufgabenbenötigt.
Bei den gegenseitigen Vergleichen der Rechenmethoden schneiden jedoch bei Beschränkung auf ellipsoidische Bezugsflächen die komplexen Trigonometrischen Reihen am besten ab.
Für die Umkehr-Abbildung gelten weitgehend die gleichen Aussagen. Sie kann aber auch einfach iterativ durch Umkehrung des gesamten Abbildungsvorganges mit wenigen zusätzlichen Programmbefehlen über ein Newton-Verfahren erfolgen. Für die Berechnung der Gaußschen Koordinaten aus dem Geographischen sowie der Umkehrabbildung können als Bausteine die gleichen numerischen Integrationsverfahren verwendet werden.
Der Maßstabsfaktor und die Meridiankonvergenz werden durch Differentiation der Abbildungsfunktion berechnet. Die Berechnung kann daher in gleicher Weise wie die der Koordinaten erfolgen, nämlich durch Taylor- oder Trigonometrische Reihenentwicklung unter Verwendung der gleichen Koeffizienten oder in geschlossener Form aus der komplexen Breite.

Für die Polar-Transformationen zwischen ellipsoidischen Richtungswinkeln und Strecken und den Gaußschen Koordinaten wird der Gaußsche Krümmungsradius verwendet, der jedoch eine Funktion der meistens nicht gegebenen Geographischen Breite ist. Zu seiner direkten Berechnung aus den Gaußschen Koordinaten werden zwei verschiedene Verfahren angegeben.
Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Berechnungen der Polar-Transformationen mit numerischen Integrationsverfahren erfüllt. Dazu wurden die für die Geographischen Koordinaten bekannten Methoden der Runge-Kutta Integration und deren Umkehrung durch Einschwenkung in das Gaußsche System übertragen. Als Alternative werden die Absteckelemente mit Hilfe von Abbildungsreduktionen über die einfache Keplersche Fassregel berechnet, die Koordinatenübertragung erfolgt dann über einen Fixpunktansatz. Die neu entwickelten Reduktionen haben eine beachtenswerte Genauigkeit bei geringem Rechenaufwand.
Die Meridianstreifen-Transformation kann über eine Taylor-Reihenentwicklung mit komplexen Koeffizienten und als Fixpunktverfahren durchgeführt werden. Für die meisten Anwender wird jedoch die Lösung der Streifentransformation über die bei Feldvermessungen häufig verwendeten Polar-Transformationen den geringsten Aufwand erfordern.
Entsprechend der Zielsetzung konnten alle Rechenaufgaben mit den Gaußschen Ellipsoidkoordinaten Lösungswege gefunden werden, die zur Verwendung in kleinen Computern besser geeignet sind als die bisher gebräuchlichen.

Zhang Yan

Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 30, 1987

Untersuchungen zur Optimalität sind eine wichtige Aufgabe im Bereich der Theorie geodätischer Überwachungsnetze. Die Untersuchungsziele hängen von der Problemstellung oder Zweckbestimmung der betrachteten Netze ab. Die in der Literatur am häufigsten behandelte Aufgabe ist die Optimierung der Genauigkeit der Lageparameter durch Variation des Beobachtungsplanes.
Im Gegensatz zu diesem üblichen Ansatz wird die Aufgabe behandelt, Beobachtungspläne für Netze zur Überwachung von tektonischen Erdkrustenbewegungen so zu optimieren, dass die die zu erwartenden Deformationen beschreibenden Parameter - das sind Parameter von Starrkörperbewegungen und Strain - möglichst genau ermittelt werden können Bei der Lösung dieser Aufgabe sind verschiedene Gesichtspunkte maßgebend. Von der mathematischen Optimierung ausgehend können als wichtigste Aspekte die Designvariablen, die Zielfunktion und die Restriktionen angesprochen werden.
Die wesentlichen Designvariablen eines geodätischen Netzes sind die Lageparameter und die Beobachtungen, mit deren Hilfe sie bestimmt werden. Tektonische Überwachungsnetze unterliegen Beschränkungen, die sie von gewöhnlichen, insbesondere allgemeinen Grundlagennetzen unterscheiden. Diese Tatsache ergibt sich aus der Zweckbestimmung der Netze, die zur Aufstellung und Überprüfung tektonischer Deformationsmodelle angelegt werden dabei nicht nur geodätische sondern auch geologische und geodynamische Kriterien zu erfüllen haben. Zur Konfigurationsoptimierung steht deshalb nur ein begrenzter Spielraum zur Verfügung. Über den Beobachtungsplan kann man hingegen im allgemeinen freier verfügen. Der Spielraum wird dahingehend genutzt, dass durch Variation des Beobachtungsplanes nicht die Genauigkeit der Lageparameter sondern die der Deformationsparameter optimiert wird.

Zielfunktion und Restriktionen stehen bei der mathematischen Optimierung in engem Zusammenspiel. Sie werden im allgemeinen aus Überlegungen zu gewissen Gütekriterien eines geodätischen Netzes abgeleitet. Gütekriterien sind vor allem Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Aufwand.
In die geschilderte grundsätzliche Vorgehensweise fließen als weitere Gesichtspunkte Betrachtungen für Aufwand und Zuverlässigkeit ein. Aufwandskriterien sind einerseits schwer zu fassen; andererseits können sie als vorzugebende Aufwandszahlen stets mit in Betracht gezogen werden. Bezüglich der Zuverlässigkeitskriterien wird in vergleichenden Berechnungen herausgestellt, wie sich die Beachtung gewisser Zuverlässigkeitszahlen für die eigentliche Netzbeobachtung auf die Optimierung des Beobachtungsplanes auswirkt. Es zeigt sich, dass die Beachtung von Zuverlässigkeitskriterien die erzielbaren Genauigkeiten beeinträchtigt.
Als weitere Aspekte wurden untersucht: Die Ausgleichung von Deformationsbeobachtungen in ein- und zweistufigen Modellen, die Homogenisierung der Elemente der Kofaktormatrix der Deformationsparameter Q_{pp} durch Gewichtung der Spur $sp(J\,Q_{pp})$, die Invarianz der Deformationsparameter gegenüber Änderungen des geodätischen Bezugssystems, die Leistungsfähigkeit verschiedener Algorithmen, und die Anwendung der dynamischen Optimierung bei der Minimierung skalarer Gütemaße.
Schließlich wird die Wirksamkeit und Leistungsfähigkeit des angewendeten Optimierungsverfahrens numerisch an schematischen und realen Überwachungsnetzen nachgewiesen. Die Beispielsrechnungen belegen nicht nur die erhebliche Genauigkeitssteigerung der Deformationsparameter durch die vorgeschlagene Optimierung des Beobachtungsplanes. Sie führen auch zu nützlichen und allgemein gültigen Erkenntnissen über die Anlage und Beobachtung tektonischer Überwachungsnetze

Wolfgang Lechner

Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 31, 1988

In der Arbeit werden Möglichkeiten der geodätischen Nutzung von Fahrzeugnavigationsanlagen untersucht. Bei diesen Systemen handelt es sich um Koppelnavigationssysteme hoher Genauigkeit, die für den Einsatz in Landfahrzeugen ausgelegt sind. Sie sind aufgrund der militärischen Erfordernisse, die zu ihrer Entwicklung geführt haben, für eine bordautonome Echtzeit-Positionsbestimmung vorgesehen. Das führt, wie aus der Inertialgeodäsie bekannt ist, zu überwiegend weg- und zeitabhängigen systematischen Fehlern. Diese gilt es für Zwekke der geodätischen Nutzung zu modellieren und in einer nachträglichen Glättung zu schätzen. Für die Berechnungen werden dabei die Koordinatenmessungen an den zu bestimmenden Neupunkten sowie Kontrollbeobachtungen an Festpunkten eines vorgegebenen Koordinatensystems verwendet.
Neben der Untersuchung der Leistungsfähigkeit der Fahrzeugnavigationsanlagen für Zwecke der Lagebestimmung werden zwei Verfahren zur Höhenübertragung, die in den bisherigen Systemen nicht vorgesehen ist, aufgezeigt, die eine der Lagegenauigkeit entsprechende Höhenbestimmung, sowohl im bordautonomen On-line-Einsatz, als auch im nachträglichen Glättungsverfahren, erlauben.
Nach einer Darstellung der geschichtlichen Entwicklung wird das mathematische Modell der Koordinatenübertragung mit Koppelnavigationssystemen auf Bezugsellipsoiden erläutert. Des weiteren wird ein Überblick gegeben, welche Sensoren für Zwecke der Koppelnavigation zur Verfügung stehen; es zeigt sich, dass, trotz vielversprechender Ansätze in eigenen Bereichen,

kein ausgereiftes Verfahren existiert, das die Sensoren moderner Fahrzeugnavigationsanlagen, Meridiankreisel, Kurskreisel und elektrischer Weggeber, ersetzen kann.
FNA 615 ist ein System, das in der Bundeswehr eingeführt ist. Die Darstellung umfasst sowohl die verwendete Hardware als auch die Grundzüge der im Navigationsrechner implementierten Software; in diesem Zusammenhang werden die notwendigen Transformationen zwischen den relevanten Koordinatensystemen (fahrzeugfest, kursreferenzfest, erdfest) erläutert und aus den funktionalen Zusammenhängen die Rechenformeln abgeleitet, mit Hilfe derer aus den Sensordaten Echtzeit-Koordinaten im UTM-System gewonnen werden.
Das funktionale Modell des Navigationsrechners wird analysiert, und eine Darstellung des Fehlerverhaltens der Sensoren einer Fahrzeugnavigationsanlage gegeben. Es wird gezeigt, dass ein Fehlermodell mit den Parametern Ausrichtfehler, linear zeitabhängige Kreiseldrift und Maßstabsfehler des Wegsensors geeignet ist, das Systemverhalten einer Fahrzeugnavigationsanlage zu beschreiben.
Zwei Glättungsalgorithmen werden vorgestellt, von denen einer die Koordinatenabschlussfehler einer Polygonmessung verwendet, um mit Hilfe einer Drehstreckung, unter Vernachlässigung der Kreiseldrift, Ausrichtfehler und Maßstab zu schätzen. Das zweite Verfahren ist eine Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Die Beobachtungsgleichung wird dabei aus der allgemeinen Übertragungsfunktion der Koppelnavigation abgeleitet; hierbei tragen alle Koordinatenbeobachtungen zur Parameterschätzung bei, mehrfach bestimmte Punkte werden in einem Guss ausgeglichen. Ein stochastisches Modell ergibt sich durch formale Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes auf die Sensordaten, wobei theoretische Untersuchungen über die Korrelation der abgeleiteten Beobachtungen notwendig sind; als Alternative wird das Verfahren der Koppelnavigation als stochastischer Prozess betrachtet und mit Hilfe eines Gauß-Markov-Prozess 1. Ordnung beschrieben.
Beide Ansätze führen zu Varianz-Kovarianz-Matrizen mit Toeplitz-Struktur, deren Inverse, die Gewichtsmatrix, sich analytisch angeben lässt. In einem weiteren Schritt wird erläutert, warum das Verfahren der Kalman-Filter-Technik für die Fahrzeugnavigation weder im On-line- noch im Off-line-Einsatz vorteilhaft verwendet werden kann, da, im Gegensatz zur Inertialgeodäsie geeignete bordautonome Stützbeobachtungen fehlen.
Durch Verwendung der im Rahmen des Projekts Inertialgeodäsie geschaffenen Testnetze, sowie eines weitgehend identischen Beobachtungsprogramms wurden die Voraussetzungen für einen Vergleich der Resultate geschaffen. Von besonderer Bedeutung war in diesem Zusammenhang die Zentrierung der Messwerte von der im Fahrzeug installierten Fahrzeugnavigationsanlage auf die Festlegung der Referenzpunkte. Genauigkeitsuntersuchungen ergaben, dass die aus der Inertialgeodäsie bekannte Verwendung eines Fahrzeugreferenzpunktes zufriedenstellende Ergebnisse liefert.
Bereits mit einfachen Beobachtungs- und Auswerteverfahren (Polygonzug, Koordinatentransformation) sind Genauigkeiten in der Größenordnung 1-Meter erreichbar, die durch qualifizierte Ansätze (Netzausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate) um den Faktor drei verbessert werden können. Dabei bietet die Betrachtung einer Navigationsfahrt als stochastischer Prozess (GMP 1. Ordnung) wesentliche Vorteile im Vergleich zu anderen Lösungen. Das Messsystem Fahrzeugnavigationsanlage erweist sich als gut modellierbar, seine Leistungsfähigkeit wird gegenwärtig vor allem durch die begrenzte Auflösung beschränkt. Der Vergleich der Resultate mit denen der Inertialvermessung ergibt ein für die FNA 615 ausserordentlich günstiges Preis/Leistungsverhältnis.
Ausgehend von empirischen Korrelationsuntersuchungen über beschleunigungsinduzierte Fehler bei der dynamischen Neigungswinkelmessung mit Elektrolytlibellen wird ein Modell entwickelt, das es erlaubt, aus den Sensordaten der FNA zusätzlich Höhenänderungen zu berechnen. Testmessungen bestätigen die Wirksamkeit des Verfahrens. Des weiteren werden Untersuchungen zur Eignung der barometrischen Höhenmessung für die Lösung dieser Pro-

blematik durchgeführt. Es zeigt sich, dass die geforderte Genauigkeit dabei sowohl bei der Echtzeit-Positionsbestimmung, als auch bei der Glättung erreichbar ist.
Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass Fahrzeugnavigationsanlagen für geodätische Zwecke der dreidimensionalen Koordinatenübertragung geeignet sind; die erreichbaren Genauigkeiten liegen dabei in einer Größenordnung wie sie aus der Verwendung von inertialen Vermessungssystemen bekannt sind. Ob damit die Leistungsgrenze derartiger Systeme bereits erreicht ist, kann erst nach einer Erhöhung der Auflösung der Sensoren endgültig beurteilt werden, jedoch deuten die erzielten Ergebnisse auf weiteres Entwicklungspotential hin.

Rolf König

Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 32, 1988

Die Qualität der inertialen Sensoren, Beschleunigungsmesser und Kreisel muss erfasst und be- schrieben werden. Nur qualitativ gute Sensoren sind für Vermessungsplattformen geeignet. Die Navigationsfehler einer schulerabgestimmten Plattform lassen sich näherungsweise mit einfachen Formeln in Abhängigkeit von der Sensorqualität bestimmen. Bei Vermessungsanwendungen müssen die inertial gemessenen Positionen zentriert werden. Die Zentriergenauigkeit wird deshalb für zwei spezielle Zentrierungsarten abgeschätzt.
Da die Navigationsgenauigkeit inertialer Plattformen von etwa 1 km/h für Vermessungszwekke nicht ausreicht, wird zur Fehlerkontrolle eine Reihe von Maßnahmen ergriffen. Die Fehler der Sensoren auf der Plattform werden in Labor und Feld kalibriert, so dass eine Berücksichtigung in der Software erfolgen kann. Die Kalibrierdaten unterliegen allerdings zeitlichen Schwankungen, deshalb müssen einzelne Fehlerterme unmittelbar vor der eigentlichen Messung ermittelt werden. Dies geschieht simultan mit der Ausrichtung der Plattform im Navigationskoordinatensystem. Die Ausrichtung der Plattform kann ebenfalls nicht fehlerfrei erfolgen, sondern ist wiederum abhängig von der Kalibrierung bzw. Qualität der Sensoren.
Kalibrierfehler und Ausrichtfehler gehen in den Integrationsprozess zur Bestimmung der Positionen während der Messung ein. Um ihre Auswirkung so klein wie möglich zu halten, werden zu bestimmten Zeitpunkten Stützmessungen durchgeführt. Diese sogenannten ZUPTs bringen eine erhebliche Steigerung der Navigationsgenauigkeit. Die damit verbesserten Rohkoordinaten können bei der üblichen Messpraxis, die inertiale Punktbestimmung in Traversen zwischen bekannten Punkten anzulegen, mit Hilfe der Koordinatenwidersprüche an den Endpunkten abgeglichen werden. Dieser Abgleich erfolgt nach empirischen Glättungsverfahren, bei denen zur Modellierung der systematischen Fehler die Koordinatenwidersprüche an bekannten Punkten oder Koordinatendifferenzen der Vor- und Rückmessung als Messinformation genutzt werden.
Nach diesen Einzeltraversenausgleichungen verbleiben systematische Restfehler in den ausgeglichenen Koordinaten. Durch Vernetzung der Traversen kann die Redundanz des Ausgleichungsproblems erhöht werden. Dadurch können Systematiken in den einzelnen Traversen modelliert und die Positionsgenauigkeit gesteigert werden. Bei den derzeit eingesetzten inertialen Vermessungssystemen bietet es sich an, die vom Kalmanfilter geschätzten Rohkoordinaten als Beobachtungen in die Netzausgleichung einzuführen. Die Genauigkeit der gemessenen Koordinaten wird in den Geräten nicht ausgegeben.

Durch geeignete mathematische Modelle ist es möglich, die zusätzlichen Parameter, die die Systematiken der Einzeltraversen aufnehmen sollen, als deterministische oder stochastische Größen einzuführen. Gleichzeitig wird damit die Basis geschaffen für eine freie Ausgleichung.
Die vielen in der Literatur angegebenen funktionalen Modelle und das auf der Grundlage einer Affintransformation neu entwickelte Modell sind in ihrer Grundform ähnlich, nämlich die Sensorachsen werden als nicht zueinander orthogonal stehend betrachtet und mit unterschiedlichen Skalierungen versehen. Die angesetzten Parameter haben meist physikalische oder geometrische Bedeutung, sind aber effektive Parameter in dem Sinne, dass sie auch andere Einflüsse aufnehmen, die denselben Effekt bewirken.
Im Unterschied zum Beobachtungstyp Koordinatendifferenzen muss bei Verwendung des Beobachtungstyps Koordinaten ein additiver Parameter pro Kanal mitgeführt werden.
Da die inertialen Vermessungssysteme keine Varianz-Kovarianzmatrizen der beobachteten Koordinaten ausgeben, werden bei der Netzausgleichung meist künstliche Varianz-Kovarianzmatrizen der Beobachtungen eingeführt. Rechentechnisch vorteilhafte Gewichtsmatrizen ergeben sich, wenn die zufälligen Fehler durch bestimmte Zufallsprozesse modelliert werden können.
Bisher wurden im englischen Sprachraum bei der Netzausgleichung die zusätzlichen Parameter durchweg als stochastische Größen betrachtet und mit stochastischer Vorinformation versehen. Diese a priori Gewichtung ist jedoch äußerst unsicher. Mit der Varianzkomponentenschätzung können die dem aktuellen Projekt entsprechenden Gewichte aus den Messungen bestimmt werden. Gleichzeitig fallen bei diesen Berechnungen Testgrößen an, die eine Grobfehlersuche ermöglichen.
Werden die zusätzlichen Parameter als deterministische Größen aufgefasst, muss gewährleistet sein, dass im Netz kein Konfigurationsdefekt vorliegt. Diophantische Ungleichungen zur Fest- stellung des Rangdefekts und Bedingungen sind entwickelt worden, um im Falle einer freien Ausgleichung sinnvoll über das Datum verfügen zu können.
Selbstkalibrierung und Testfeldkalibrierung werden als weitere Hilfsmittel bei der Ausgleichung inertialer Netze angewendet und diskutiert.
An den Messungen von vier Kampagnen mit verschiedenen inertialen Vermessungssystemen werden unterschiedliche Ausgleichungsstrategien numerisch untersucht. Je nachdem ob die zusätzlichen Parameter als deterministische oder stochastische Größen angesehen werden, können die Beobachtungen mit einer diagonalen oder tridiagonalen Gewichtsmatrix versehen werden. Zur Ermittlung der Possitionsunbekannten ist ein stochastischer Ansatz zu empfehlen. Die Genauigkeiten der Störparameter können im Sinne der Selbstkalibrierung aus den Messungen selbst geschätzt werden. Bei vernetzten Traversen, deren Rand dicht mit bekannten Punkten besetzt ist, kann ein deterministischer Ansatz gewählt werden. Die freie Netzausgleichung kann eingesetzt werden, um die Genauigkeitsstruktur eines Inertialnetzes zu erfassen.

Norbert Kersting

Zur Analyse rezenter Krustenbewegungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 42, 1992

In der geophysikalischen Literatur sind die Grundlagen und die darauf aufbauenden, weiterführenden Entwicklungen des Dislokationsansatzes nur verstreut, Teilaspekte behandelnd oder stark zusammengefasst zu finden. Aufgabe dieser Arbeit war es daher auch, eine ge-

schlossene Darstellung der Herleitung des Dislokationsmodelles zu geben. Dementsprechend werden, ausgehend von den Grundlagen der Elastizitätstheorie, die Gleichungen, die das Verschiebungsfeld einer beliebigen Dislokation beschreiben, vorgestellt. Aus diesen Gleichungen wird anschließend der Formelapparat für die Berechnung der Oberflächenverschiebungen der speziellen Dislokation gewonnen, die einen Erdbebenvorgang oder eine kontinuierliche aseismische Bewegung an einer tektonischen Verwerfung repräsentiert. Zur Veranschaulichung der Oberflächenverformungen charakteristischer Verwerfungen werden Deformationen eines Punktrasters berechnet und graphisch dargestellt. Über den Einfluss der Vereinfachungen, die beim Übergang von der allgemeinen auf die spezielle, ein Erdbeben beschreibende Dislokation vorgenommen werden müssen, und die Auswirkungen der ideellen Annahmen bezüglich des Materialverhaltens der Litosphäre findet man in der Literatur nur sehr wenige Hinweise. Daher wurde eine numerische Untersuchung dieser Einflüsse durchgeführt.
Anschließend wird der Schätzungsalgorithmus für die Parameter der Deformationsansätze aus geodätischen Beobachtungen vorgestellt, wobei auf Modellerweiterungen und -verfeinerungen vertieft eingegangen wird.
Die in dem einfachen kinematischen Modell bestimmten Punktverschiebungen bzw.Verschiebungsgeschwindigkeiten haben bekanntlich den Nachteil, dass sie abhängig vom Referenzsystem sind. Um die daraus resultierenden Schwierigkeiten bei ihrer Interpretation zu verringern, wird ein Verfahren zur Festlegung des Referenzsystems, das die Informationen über die zu erwartenden Deformationen ausnutzt, weiterentwickelt und für den Dislokationsansatz adaptiert. Die danach ermittelten Verschiebungen werden als äußere Lösung bezeichnet.
Da der gewöhnlich verwendete Ansatz, den Erdbebenherd durch eine einzige Dislokationsfläche mit konstantem Versatz zu approximieren, in einigen Fällen als zu einfach bezeichnet wird, wird er zu einem neuen Verfahren zur Schätzung variablen Versatzes an einer tektonischen Verwerfung weiterentwickelt. Dabei wird die Dislokationsfläche in Teilflächen mit konstantem Versatz zerlegt, und die Versatzbeträge werden durch weiche Bedingungsgleichungen aneinander gekoppelt, um so einer Überparametrisierung entgegenzuwirken. Der Einsatz von Bedingungsgleichungen erweist sich als einfaches und sehr flexibles Hilfsmittel, so dass damit in den Anwendungsbeispielen auch andere Herdparameter miteinander verknüpft werden.
Da das Dislokationsmodell Deformationen stark generalisiert, können in der Differenz zwischen den Modell- und den beobachteten Deformationen noch systematische Anteile enthalten sein. Um sie korrekt zu behandeln, wird erstmals die Deformationsanalyse mit einem gemischten Modell auf die Untersuchung der Erdkrustenverformungen mit dem Dislokationsansatz angewendet.
Will man die geodätisch beobachteten Deformationen der Erdoberfläche nutzen, um daraus Erdbebenkenngrößen abzuleiten, so stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen dies möglich und zulässig ist. Können die geodätischen Daten allein den Bewegungsvorgang an der tektonischen Verwerfung nur schwach bestimmen, müssen sie durch seismische und/oder geologische Daten gestützt werden. Die Schätzbarkeit von Erdbebenherdparametern aus geodätischen Beobachtungen wird daher ausführlich untersucht. Ausgangspunkt ist eine Diskussion der Kriterien, anhand derer die Schätzbarkeit beurteilt werden könnte. Daran schließt sich die Beschreibung der numerisch durchgeführten Untersuchungen an. Und schließlich werden die Ergebnisse vorgestellt, aus denen sich Regeln ableiten, die bei Verwendung des Dislokationsmodelles zu beachten sind.
An die Darstellung der theoretischen Grundlagen schließt sich die Beschreibung des entwikkelten Analyseprogrammes KINAUS an. Seine Fähigkeiten und sein Aufbau werden im einzelnen präsentiert, und seine Leistungsfähigkeit wird mit Daten aus dem Bereich der San Andreas Verwerfung und aus Neuseeland demonstriert.
Die erste Untersuchung behandelt die Deformationen eines starken Erdbebens im Imperial Valley in Südkalifornien. Hier bewährt sich insbesondere das Verfahren zur Schätzung varia-

blen Versatzes an einer Verwerfung. Die mit ihm aus geodätischen Beobachtungen erhaltenen Ergebnisse sind den unmittelbar an der Verwerfungslinie gemessenen Versatzbeträgen besser angepasst als andere, bisher vorgestellte Resultate.
Das zweite Beispiel stammt aus einem nördlich an das Imperial Valley grenzenden Bereich des San Andreas Verwerfungssystems, dem Salton Trog. In ihm werden die mit dem Strainansatz berechneten Resultate denen aus dem Dislokationsmodell zur Analyse interseismischer Deformationen gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass beide Analyseverfahren sinnvoll sind. Das Dislokationsmodell gestattet aber wegen seiner geophysikalisch besser deutbaren Parameter eine tiefergehende Interpretation der Krustendeformationen.
Abschließend werden im dritten Beispiel die vom Edgecumbe Beben 1987 hervorgerufenen Deformationen analysiert. Dabei wird gezeigt, wie durch geeignete Wahl von Bedingungsgleichungen verschiedene Parameter benachbarter Dislokationsflächen aneinander gekoppelt werden können, so dass ein Satz sinnvoll zu schätzender Unbekannter verbleibt. In der Untersuchung werden neben den geodätischen auch seismische und geologische Daten berücksichtigt. Schließlich wird in diesem Beispiel die Analyse mit dem gemischten Modell durchgeführt, wodurch sich ein zutreffender Gewichtsansatz für die verschiedenen Beobachtungstypen und damit realistische Schätzwerte für die gesuchten Herdparameter ergeben.

Wolfgang Oswald

Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 44, 1992

Die Kombination herkömmlicher terrestrischer Beobachtungen mit modernen Raummesstechniken wie dem GPS in geodätischen Netzen lokaler Ausdehnung ist Gegenstand ingenieurgeodätischer Praxis und wissenschaftlicher Forschung gleichermaßen. Während sich die Praxis häufig mit der Bestimmung plausibler Punktkoordinaten begnügt und Genauigkeitsrückschlüsse allenfalls aus den Klaffungen in identischen Punkten zieht, gilt das Hauptaugenmerk wissenschaftlicher Arbeiten der Erfassung und Ellimination systematisch wirkender Fehleranteile durch verfeinerte Auswerte- und Analysemodelle. Eine gemessen an der zur Verfügung stehenden Information strenge kombinierte Ausgleichung ist bislang jedoch nicht oder nur ansatzweise erfolgt. Hierzu bedarf es neben eines funktionalen Modells zur räumlichen Zuordnung eines stochastischen Modells, das geeignet ist, die optimalen Beobachtungsgewichte des heterogenen Beobachtungsmaterials zu finden. Allerdings müssen bestehende Varianzkomponenten-Modelle erweitert werden, um auch vorausgeglichenen Größen wie Koordinaten oder Koordinatendifferenzen (GPS: aus dem Postprocessing der Phasenmessungen) gerecht zu werden.
Eine Integration vorab geschätzter Größen führt in die Technik sequentieller Ausgleichungstechniken. Allgemein wird dabei Beobachtungsinformation auf vorläufige Parameter einschließlich Dispersion übertragen (Vorausgleichung) und in dieser Form bereitgestellt für die Schätzung endgültiger Parameter unter Einschluss weiterer Informationen (Folgeausgleichung). Grundsätzlich ist es ohne Belang, in welcher Form die Beobachtungsinformation bereitsteht. Koordinatendifferenzen oder Koordinaten einer GPS-Multistations/Multisessions-Lösung sind Träger derselben relativen Lageinformation. Gleichwohl sind Koordinaten als Informationsträger anschaulicher und universeller. Die Bestimmung „bester" Koordinaten ist wesentliches Anliegen einer jeden zwangsfreien Netzausgleichung. Die vorliegende Arbeit stellt das Modell einer netzweisen Varianzkomponenten-Schätzung vor. Hiernach lassen sich Varianzkomponenten originärer Beobachtungsgruppen bei sequentieller Netzausgleichung rekonstruieren und Gewichte abgeleiteter Beobachtungen im nachhinein homogenisieren.

Koordinatenschätzungen und ihre Genauigkeitsmaße stimmen mit denen einer vergleichbaren Gesamtnetzausgleichung überein.
Die Formulierung eines allgemeingültigen Konzepts zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen verlangt nach Berücksichtigung weiterer Aspekte. Abgeleitete Größen wie Koordinaten und Koordinatendifferenzen beinhalten neben relativer Lage - auch absolute Datumsinformation. In jedem Fall muss sichergestellt werden, dass die Datumsfestlegung im gesamten Netz einheitlich erfolgt. Als Hilfsmittel bietet sich das bekannte Instrument der variablen Zusatzparameterwahl an. Handelt es sich bei den Beobachtungen um vorausgeglichene Koordinaten, so kann der Problematik eines hybriden Datums ebenfalls durch Elimination äußerer Fehleranteile im stochastischen Modellpart begegnet werden. Dies geschieht mit Hilfe von defekterhöhenden S-Transformationen.
Transformationen sind notwendig, um die (vorausgeglichenen) Teilnetze unter einem einheitlichen Bezugssystem zusammenführen zu können. Die Güte einer Transformation zwischen physikalisch definierten Bezugssystemen, wie dem vereinbarten terrestrischen System und einem geodätischen Datumssystem, wird bestimmt aus der Qualität ihrer Realisierung. Oftmals liegen keine Informationen über die zwischen den Systemen vermittelnden Transformationsparameter vor. Abhilfe schafft hier eine Helmert-Transformation (Auffelderung) zwischen den kartesischen Koordinaten von Vergleichspunkten. Ohne Berücksichtigung der in einem Varianzkomponenten-Modell zu homogenisierenden Koordinatengewichte ergeben sich für die Transformationsparameter wiederum nur Näherungswerte. Auswirkungen der noch verbleibenden, differentiell kleinen Systemunterschiede auf die sich anschließende Netzverknüpfung/Netzverschmelzung kann durch Einführung eines relativen Datumsvektors begegnet werden. Die Bestimmbarkeit einzelner Elemente dieses Vektors richtet sich nach der den Koordinatengewichten innewohnenden Datumsinformation. Als Standardverfahren empfiehlt sich eine Elimination aller systembedingten Einflüsse schon im Vorfeld der kombinierten Netzausgleichung. Dieser Weg führt über eine von allen Datumseinflüssen befreite innere Fehlermatrix der Koordinatenbeobachtungen, bei den ohnehin erforderlichen Datumstransformationen ein unerheblicher Mehraufwand.
Damit ergibt sich ein dreistufiges Modell einer hybriden Netzkombination, das den meisten ingenieurgeodätischen Anwendungen gerecht werden sollte. Es wird gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Transformation von satellitengestützten Koordinaten einschließlich Dispersion in das terrestrische Bezugssystem; Abspaltung globaler Fehleranteile durch defekterhöhende S-Transformation
- Verknüpfung satellitengestützter und terrestrischer Netze und/oder terrestrischer Originalbeobachtungen in einer Folgeausgleichung
- Homogenisierung der Gewichte durch netz- oder gruppenweise Varianzkomponenten-Schätzung

Als wesentliche Vorzüge dieses Konzeptes lassen sich nennen der modulare Aufbau, der eine Integration vorhandener (Ausgleichungs-)Programme einfach macht, die Möglichkeit zu Plausibilitätskontrollen auf allen Ebenen und nicht zuletzt eine bestmögliche Nutzung vorliegender Beobachtungsinformation durch netz- und gruppenweise Varianzkomponentenschätzung.

Robert Scheuring

Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 49,1995

Die Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen (LIS) wurde näher untersucht und zusammenfassend dargestellt. Die aufgezeigten Möglichkeiten und Horizonte dienen zur Erfüllung der Anforderungen an LIS.
Ein wichtiger Qualitätsaspekt ist die Genauigkeit der geometrischen Grunddaten, zu deren Beurteilung einige Maße zusammengestellt und definiert wurden, die hauptsächlich auf der traditionellen Ausgleichung nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate beruhen. Der neu entwickelte Ansatz zur Lagegenauigkeit von Strecken basiert dagegen auf der Monte-Carlo-Methode.
Gegenüber diesen eher konventionellen Betrachtungen bietet der eingeführte Fuzzy-Datenansatz neue Möglichkeiten zur Beschreibung und Qualitätsbeurteilung unscharfer Daten. Des weiteren wurde aufgezeigt, wie Basisdaten von LIS und ihre Beziehungen untereinander mittels Neuronaler Netze beschrieben werden können.
Das für die Basisdaten eines LIS, zu denen neben Geometriedaten auch Attributdaten gehören, entworfene Qualitätsmodell definiert Qualitätsmerkmale und zeigt Beurteilungsmöglichkeiten für diese auf.
Nähere Betrachtung erfährt das Qualitätsmerkmal Zuverlässigkeit. Nach einer Diskussion verschiedener Datenerfassungsmethoden wurde ein Konzept aufgestellt, um die Zuverlässigkeit von Digitalisierungen zu erhöhen.
Diese in der Arbeit vorgestellten Aspekte eines Qualitätsmodells ermöglichen eine bessere Beurteilung der Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen. Die Arbeit dient somit auf der Basis der erarbeiteten theoretischen Grundlagen als praktische Hilfe für den Entwickler und Anwender von Landinformationssystemen.
Nach dem vielerorts bereits geschehenen Entwurf des Datenmodells muss nun in der Praxis die Konzeption eines Qualitätsmodells für Daten von Landinformationssystemen erfolgen. Da sich das Vermessungswesen bereits insbesondere für das Qualitätsmerkmal Genauigkeit verantwortlich zeigt, ist es geradezu prädestiniert, in der Erstellung des Qualitätsmodells führend mitzuwirken.

Jian Guo Wang

Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 52, 1997

Der Entwicklungsstand moderner Positionierungstechniken mit GPS, INS und weiteren Verfahren ermöglicht es heute, eine fahrzeuggebundene kinematische Vermessung von Landesverkehrswegen mit hoher Genauigkeit durchzuführen. Dazu ist aber die Entwicklung geeigneter Auswertemethoden erforderlich.
In einem ersten Schritt wurde die Zuverlässigkeitsanalyse als notwendiger Bestandteil der Qualitätskontrolle für den Kalman-Filter (Kalman 1960) eingeführt. Dann wurde das von Förstner (1979) vorgeschlagene Verfahren zur a-posteriori-Varianzuschätzung auf die Beobachtungsarten und auch auf die Einzelfaktoren im Prozessrauschen angewendet. Zur Kompensation grober Beobachtungsfehler konnte ein Verfahren mit Hilfe von Zusatzparametern

entwickelt werden. Zur Robustifizierung wurde die von Li (1983) entwickelte Methode realisiert.
Hinsichtlich der Anwendung auf kinematische Vermessungen wurden drei Modelle dargestellt und einer Modellbewertung im Rahmen einer Qualitätskontrolle unterzogen. Die Qualitäts- kontrolle erfordert die Analyse verschiedener Parameter wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Prädiktionsresiduen, Verbesserungen und Krümmungsbild. Dabei wurde der Unterschied zwischen den FM-Glättungsalgorithmen und dem RTS-Glättungsalgorithmus anhand der Zielfunktionen und von numerischen Beispielen beleuchtet. Weiterhin wurden statistische Tests, Verfahren zur Identifikation und Kompensation grober Beobachtungsfehler, zur Identifikation und Kompensation systematischer Sensorfehler sowie zur robusten Kalman-Filterung systematisch untersucht. Ausführlich wurde auf die Ermittlung der Anfangswerte von Zusatzparametern bei der Modellierung systematischer Sensorfehler eingegangen. Alle in dieser Arbeit beschriebenen Verfahren wurden in Rechnerprogrammen realisiert und anhand von Simulationsdaten numerisch untersucht und jeweils in einzelnen Themenbereichen verglichen
Zwei Eigenarten dieser Arbeit sind hervorzuheben:
Eine Grundüberlegung besteht darin, dass die zufälligen Fehler im System immer aus drei unabhängigen Teilen bestehen, die den folgenden Informationsträgern anhaften. Die direkten Beobachtungen stellen die neue Messinformation aus den Sensoren dar. Die erste Pseudobeobachtungsgruppe, der prädizierte Zustandsvektor, enthält die Information aus den vorher geschätzten Zuständen. Die zweite Pseudobeobachtungsgruppe, das Prozessrauschen, umfasst die Information über die angesetzten Modellfehler. Gewöhnlich wurden die letzten zwei Gruppen in einer zusammengefasst. Diese drei Informationsgruppen und die zugehörenden Fehlerarten können und sollten stets isoliert analysiert werden. Dieser Ansatz ist nicht nur bei der Ableitung des Kalman-Filters aus der Sicht der Ausgleichungsrechnung, sondern auch bei der a-posteriori-Varianzschätzung und bei der robusten Kalman-Filterung verfolgt worden.
Viele Analysen der Verfahren wurden anhand von Simulationsdaten durchgeführt. Die daraus getroffenen Aussagen können sicherlich nur als exemplarisch angesehen werden. Die numerische Analyse ist jedoch notwendige Voraussetzung für die Bewertung verschiedener Verfahren in wissenschaftlichen Arbeiten, so auch in dieser Arbeit.
Im einzelnen liefert die Arbeit folgende Ergebnisse:
Die Beurteilung der Filterungsergebnisse bei der kinematischen Vermessung von Landverkehrswegen soll hinsichtlich Genauigkeit und Zuverlässigkeit sowie anhand der Prädiktionsresiduen und Verbesserungen der Beobachtungen sowie des Krümmungsbildes erfolgen. In anderen Anwendungsgebieten wird oft nur die Analyse der Genauigkeit und der Prädiktionsresiduen durchgeführt. Aus Sichtweise der Vermessung sollen auch Zuverlässigkeit und Beobachtungsverbesserungen gleichwertig untersucht werden. Bei der kinematischen Vermessung von Landverkehrswegen ist zudem die Analyse des Krümmungsbildes der geschätzten Trajektorie für die Qualitätskontrolle wichtig.
Zur Positionsbestimmung bei der kinematischen Vermessung wird am Modell vorgeschlagen, das unter der Annahme einer gleichförmigen Kreisbewegung abgeleitet wurde. Das Modell besteht aus 5 Komponenten im Zustandsvektor (Koordinaten y, x, Azimut A, Geschwindigkeit v_t und Zentripetalbeschleunigung a_r) und aus zwei Faktoren im Prozessrauschen (Tangentialbeschleunigung a_t und Zentripitalruck j_r). Anhand von Simulationsdaten konnten mit diesem Modell auch kurvige Fahrten sehr gut beschrieben werden. Für Landverkehrswege mit kleinen Krümmungsänderungen ist auch ein einfacheres Modell anwenbar.
Basierend auf den Redundanzanteilen der Beobachtungen wurde die Analyse der Zuverlässigkeit im Kalman-Filter allgemeingültig durchgeführt. Durch die Analyse der Verteilung der Redundanzanteile auf die Einzelbeobachtungsarten kann man die Abstimmung der Beobachtungsgenauigkeiten untersuchen. Dies trägt zur Kenntnis der Systemstruktur bei.

Ein FM-Glättungsalgorithmus wurde theoretisch streng in diskreter Zeit abgeleitet. Mit ihm kann die Genauigkeit des Zustandsvektors bei Unterbrechung des Empfangs der GPS-Signale wegen Abschattungen der Satelliten durch die Glättung wirkungsvoll erhöht werden.
Ein neuer Weg zur a-posteriori-Varianzschätzung im Kalman-Filter wird durch die Realisierung des von Förstner (1979) entwickelten Verfahrens eröffnet. Dieses Verfahren mit Hilfe der Redundanzanteile der Einzelbeobachtungen wurde als rekursiver Algorithmus formuliert. Nicht nur die Varianzkomponenten der Einzelbeobachtungsarten, sondern auch diejenigen der Modellfehlerfaktoren können damit für eine beliebige Epoche auf der Basis aller vorhergehenden Messdaten nachgeschätzt werden. Der Algorithmus kann sowohl bei der Datennachbearbeitung als auch in Echtzeit eingesetzt werden.
Die statistischen Tests im Kalman-Filter wurden global, regional und lokal angesetzt. Dieses Vorgehen ist für die Analyse einer zeitlichen Datenreihe gut geeignet. Die numerischen Ergebnisse zeigen, dass die globalen bzw. regionalen Tests zur Identifikation kleiner systematischer Sensorfehler nicht sensitiv genug sind, wenn nicht genügend Messepochen vorliegen. Ferner sind in diesem Anwendungsbereich der *t*- und *F*-Test dem Test nach Normalverteilung und dem χ^2-Test vorzuziehen.
Das entwickelte Verfahren zur Behandlung grober Beobachtungsfehler mit Hilfe von Zusatzparametern und linearen Hypothesentests ist zur effektiven Kompensation grober Beobachtungsfehler geeignet. Gestützt auf die statistischen Tests kompensiert das Verfahr grobe Fehler in einem Iterationsprozess mit Hilfe der Prädiktionsresiduen oder Verbesserungen der Beobachtungen sowie der vorgegebenen großen Varianzen als a-priori-Informationen über die Zusatzparameter. Im Gegensatz zu zwei anderen, ebenfalls untersuchten einfachen Methoden ist dieses Verfahren sehr gut für die Nachbearbeitung geeignet.
Die Aufdeckung konstanter systematischer Sensorfehler kann im Kalman-Filter auf zwei Weisen erfolgen: Durch Tests auf der Basis der Normalverteilung und der χ^2-Verteilung. Die berechneten Grenzwerte nach diesen zwei Verteilungen stimmen gut überein.
Die Kombination von Vorwärts- und Rückwärts-Kalman-Filter ist eine effektive Technik zur Identifikation sprunghafter systematischer Sensorfehler. Diese Strategie ist zur Sensorkalibrierung vor dem Messvorgang und für die Datennachbearbeitung anwendbar.
Für die Genauigkeit der Anfangswerte von Zusatzparametern bei der Identifikation systematischer Sensorfehler gibt es keine hohen Anforderungen. Eine allgemeingültige Regel ist es, die Anfangswerte als Pseudobeobachtungen mit Erwartungswert Null und großer Varianz anzusetzen, da ihre Schätzwerte nicht abhängig von den vorgegebenen Anfangswerten sind. Wie groß die Varianz ist, sollte man empirisch schätzen und mit realen oder simulierten Daten ausführlich untersuchen. In der Regel sollte sie größer als die dreifache Standardabweichung der entsprechenden Beobachtung sein.
Zur Robustifizierung des Kalman-Filters hat der Autor ein von Li (1983) für Regressionsmodelle entwickeltes Verfahren der a-posteriori-Varianzschätzung auf den Kalman-Filter angewendet. Das Verfahren ist in der Nachbearbeitung sehr wirkungsvoll.
Alle in dieser Arbeit beschriebenen robusten Verfahren wurden anhand von numerischen Beispielen verglichen. Die erste Art von robusten Kalman-Filtern, robuste Bayessche Schätzung, gehört zu den Einschrittschätzern und ist daher für Echtzeitanwendungen geeignet. Für die Datennachbearbeitung wurden zwei andere Arten von robusten Verfahren, robuste Maximum-Likelihood-Schätzung und Robustifizierung mit Hilfe der a-posterio-Varianzschätzung, eingeführt, bei denen die Behandlung iterativ vonstatten geht. Dabei liefern das Modell mit dickschwänzigen Verteilungen der Beobachtungen und das Verfahren, Robustifizierung mit Hilfe der a-posteriori-Varianzschätzung, die besten Ergebnisse.
Der vorgeschlagene Auswerteprozess stellt eine Strategie zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung dar. Wie oben erwähnt, spielen die Kenntnis über die verschiedenen vorhandenen mathematischen Methoden und die praktischen Erfahrungen eine wichtige Rolle bei der Auswertung.

Guoping Chen

Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 53, 1996

Der Einfluss eines additiven Ausreißers AA auf die Schätzwerte für Autokorrelationskoeffizienten wird analytisch untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass beim Vorhandensein eines AA die Autokorrelationskoeffizienten dem Betrag nach kleiner als der Sollwert geschätzt werden. Daraus resultiert die Aussage, dass ein aus mit groben Fehlern behafteten Messdaten geschätzter Parameter eines AR(l)- oder MA(l)-Modells im Stationaritäts- oder Invertierbarkeitsbereich bleibt, wenn auch der zugrundeliegende Prozess stationär oder invertierbar ist. Es werden vier robuste Schätzer vorgestellt, mit denen der Einfluss von AA auf die geschätzten Autokorrelationskoeffizienten unterdrückt werden kann. Ausgehend von Huber (Huber's Proposal 2) wird der Wert der kritischen Konstante β für die simultane Schätzung von Lage- und Skalenparameter empirisch untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist bedeutungsvoll und kann zur robusten Schätzung von Lage- und Skalenparametern des Zeitreihenmodells eingesetzt werden. Mit Hilfe der M-Schätzer werden einige robuste Varianten zur Parameterschätzung und Modellidentifikation des klassischen Zeitreihenmodells erörtert und mit zahlreichen Simulationsbeispielen erprobt. In allen Fällen der Parameterschätzung und der Modellidentifikation sind die robusten Verfahren der klassischen Vorgehensweise klar überlegen.
Unter Berücksichtigung der Messfehler wird das klassische ARMA-Modell zu einem EARMA-Modell erweitert. Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate wird ein Schätzverfahren für die Parameter des EARMA-Modells hergeleitet. Für die in der Regel nicht bekannten Varianzen des System- und des Messrauschens wird eine Varianzkomponentenschätzung vorgestellt. Die Problematik der Modellidentifikation wird ebenfalls behandelt. Simulationsrechnungen bestätigen, dass dieses EARMA-Modell die Einflüsse des Systemrauschens und des Messrauschens voneinander trennen und die Modellparameter plausibel schätzen kann, sofern die Modellordnung vernünftig gewählt wurde.
Das EARMA-Modell kann ohne weitere Modifikation im Zustandsraum formuliert werden. Die Stabilität, die Beobachtbarkeit sowie die Störbarkeit des EARMA-Modells werden ausführlich diskutiert. Mit Hilfe des Kalman-Filters wird das EARMA-Modell im Zustandsraum ausgewertet. Einzelne Lücken in den Messdaten können so gefüllt und zweifelhafte Beobachtungen durch interpolierte Werte ersetzt werden, sofern die Parameter und die Varianzkomponenten des EARMA-Modells vorhanden sind.
Kollokation und Kriging können wie das EARMA-Modell zur Interpolation von Beobachtungen herangezogen werden. Ursprünglich dienen diese beiden Verfahren der Verarbeitung räumlicher Daten. Sie können aber ebensogut auf die Behandlung von Zeitreihen angewandt werden, wenn man die Zeitachse als eine eindimensionale Raumachse ansieht. Die Identität der beiden Verfahren unter gewissen Bedingungen wird theoretisch bewiesen. Die Kovarianzfunktion und das Variogramm - die Bausteine für Kollokation und Kriging - sind bei schwach stationären Prozessen äquivalente Maße für die stochastische Struktur der Prozesse. Die beiden Verfahren unterscheiden sich vor allem in ihrer rechentechnischen Realisierung. Wegen des kleineren Rechenaufwandes, der stabileren Ergebnisse, des breiteren Anwendungsbereiches und nicht zuletzt, weil das Variogramm von einem nicht vollständig entfernten Trend weniger beeinflusst wird als die Schätzwerte für die Kovarianz, ist das Krigingverfahren als Favorit zu empfehlen. Es wurde erfolgreich versucht, das Krigingverfahren zu robustifizieren. Einige Ergebnisse dazu werden unterbreitet.
Die praktische Anwendbarkeit der robusten Schätzer für das EARMA-Modell und für das Krigingverfahren wird mit realen Zeitreihen aus dem geodätischen Bereich untersucht. Die

Zeitreihen sind sowohl mit einem deterministischen Anteil als auch mit groben Fehlern behaftet. Darüberhinaus enthalten sie Lücken. Der deterministische Anteil wird mit einem Polynom zweiten Grades und einer periodischen Funktion approximiert. Um die Frequenz der Perioden zu bestimmen, wird das Periodogramm zu Hilfe genommen. Die Parameter des Polynoms und der Schwingungen werden robust geschätzt. Mit dem Krigingverfahren werden die Lücken in den Zeitreihen gefüllt und die zweifelhaften Messwerte korrigiert. Es zeigt sich, dass das Krigingverfahren ein für diesen Zweck geeignetes Werkzeug ist. Die Wirkung des robusten Krigings wird nachgewiesen. Danach werden die Zeitreihen mit dem EARMA-Modell modelliert. Die Ergebnisse zeigen, dass das EARMA-Modell zur Modellierung geodätischer Zeitreihen geeignet ist. Mit diesem Modell kann man die stochastische Feinstruktur der Zeitreihen untersuchen und die Varianz des Messrauschens schätzen.
Für die Analyse geodätischer Zeitreihen wird folgende allgemeine Vorgehensweise empfohlen:

(1) *Darstellung der Zeitreihen.*
Eine plausible Entscheidung über die Ansätze zur Modellierung der Zeitreihen ist nur mit graphischen Hilfsmitteln und unter Berücksichtigung der a priori bekannten Eigenschaften der gemessenen Objekte sowie der Messgeräte und des Messverfahrens möglich. Eine „blinde"Analyse ist auf jeden Fall zu vermeiden.

(2) *Abspaltung des deterministischen Anteils.*
Der Trend kann durch lineare Funktionen (Polynome beliebigen Grads) oder nichtlineare Funktionen (exponentielle oder logistische Funktionen) modelliert werden - je nachdem, was in den Graphiken der Messdaten offensichtlich wird. Um die eventuell überlagerten Schwingungen aufzudecken, ist es sinnvoll, nach Abspaltung des Trendes eine Spektralanalyse durchzuführen und anschließend die Schwingungsparameter zu schätzen. Die verbleibenden Residuen bilden trendfreie Zeitreihen.

(3) *Kriging der Residuen.*
In diesem Schritt werden die Lücken in den Zeitreihen gefüllt und zweifelhafte Messdaten durch Ersatzwerte substituiert.

(4) *Modellierung des stochastischen Anteils mit einem EARMA-Modell.*
Dieser Schritt bietet die Möglichkeit, die Feinstruktur des stochastischen Anteils zu untersuchen und eine plausible Angabe über die Qualität der Messdaten zu liefern.

Da grobe Fehler in Beobachtungsreihen nahezu immer präsent sind, müssen in Schritt *(2)* und *(3)* robuste Verfahren eingesetzt werden. Nur so können der Einfluss grober Fehler unterdrückt und verlässliche Daten für Schritt *(4)* geliefert werden.
In dieser Arbeit werden das EARMA-Modell und das Krigingverfahren gemeinsam zur Analyse eindimensionaler Zeitreihen eingesetzt; es ist jedoch erstrebenswert, diese Verfahren auch auf die Analyse zweidimensionaler Zeitreihen sowie räumlicher Daten zu übertragen. Die Fortführung dieser Arbeit bestünde wesentlich darin, das EARMA-Modell zu erweitern und es zusammen mit dem Krigingverfahren auf die Analyse räumlicher Daten anzuwenden. Die Auswertung des EARMA-Modells muss immer in Verbindung mit der Varianzkomponentenschätzung durchgeführt werden. Der große Rechenaufwand legt es nahe, vereinfachte Verfahren zur Varianzkomponentenschätzung zu entwickeln, damit auch die Auswertung von Zeitreihen mit hoher Beobachtungsanzahl durchgeführt werden kann. Dabei ist der Einsatz robuster Verfahren zur Auswertung des EARMA-Modells unverzichtbar.

Thomas Sutor

Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 56, 1997

Robuste Verfahren erweisen sich in geodätischen Problemstellungen und Anwendungen nicht nur für die konventionelle Parameterschätzung, sondern zunehmend auch für die Untersuchung von geodätischen Zeitreihen als nützlich und notwendig. Robust wird dabei im Sinne von Ergänzung und nicht als Ersatz der Methode der kleinsten Quadrate verstanden. Bereits die ersten, oftmals über eine fundierte Interpretation entscheidenden Schätzschritte im klassischen Komponentenmodell, können durch den Einsatz robuster Verfahren deutlich verbessert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, werden in dieser Arbeit durch den Einsatz von Hebel- und neuentwickelten Einflusswerten die Startwertberechnungen für nichtlineare Trendfunktionen robustifiziert. Die Konvergenz und Stabilität der Schätzungen kann dadurch erheblich verbessert und robuste, konsistente und plausible Schätzergebnisse in den gewählten Trendmodellen erreicht werden.
Der robusten Schätzung der Autokorrelations-Funktion gilt - vor allem in Hinblick auf die spektrale Dichtefunktion sowie das Wiener-Khintchin Theorem - erhöhte Aufmerksamkeit. Neben robusten Aspekten tritt zusätzlich das Problem der positiven Definitheit von Schätzungen auf. Zwei der Literatur entnommene Vorschläge hierzu erweisen sich in dieser Arbeit für reale Anwendungen als wenig brauchbar. Als Alternative zu den bekannten nichtrobusten und robusten Autokorrelations-Schätzern wird eine Methode entwickelt, die die Vorzüge und positiven Eigenschaften der verfügbaren Verfahren in sich vereint. Mit Hilfe von Hampels Einflussfunktion wird dazu die Wirkung grober Fehler auf die Schätzung der Autokorrelations-Funktion untersucht. Durch eine Summation von Einflusswerten gelingt es, grobe Fehler im Beobachtungsvektor zu identifizieren und zu eliminieren. Um die positive Definitheit des neuen Schätzers sicherzustellen und um eventuelle Restfehler erfassen zu können, wird dem Verfahren ein bekannter, robuster Ansatz von Huber nachgeschaltet. Am Beispiel von simulierten Zeitreihen werden die einzelnen Autokorrelations-Schätzer anschließend verglichen und die Leistungsfähigkeit des neuen Verfahrens nachgewiesen.
Eine Schätzung im Spektralbereich ist traditionell auf die Fourier-Transformation gegründet. Zwar weisen die zugehörigen Verfahren die höchste erzielbare spektrale Auflösung auf, jedoch sind alle Methoden mit einer hohen Verzerrung und Varianz bis hin zur Inkonsistenz der Schätzwerte behaftet. Der Einfluss von Ausreißern ist nicht begrenzt und daher der Zusammenbruch dieser Schätzer bei Anwesenheit grober Fehler möglich. Das bekannte und in der Literatur dokumentierte Prewhitening/Recoloring von R.D. Martin wird in dieser Arbeit durch einen robusten Spektralschätzer, der auf einer robusten Schätzung der Autokorrelations-Funktion basiert, ergänzt. Damit kann ohne den Umweg über autoregressive Modelle - der durchaus einige Schwierigkeiten verursachen kann - eine Robustifizierung der spektralen Dichtefunktion erreicht werden. Im Vergleich mit den aus der Literatur bekannten Ansätzen erweist sich der robustifizierte klassische Ansatz den verfügbaren robusten Methoden als zumindest ebenbürtig.
Im Vergleich zu den klassischen Verfahren erscheinen spektrale Dichtefunktionen, die auf parametrischen Modellen beruhen, stark generalisierend. Nichtsdestoweniger bilden sie eine sinnvolle Erweiterung für die Verfahren der Zeitreihenanalyse im Frequenzbereich, wie am Beispiel von simulierten Zeitreihen gezeigt wird. Eine Robustifizierung ist allerdings wiederum unumgänglich. Als Ersatz für die herkömmliche, gegen Ausreißer extrem sensitive Schätzung der Standardabweichung der Innovationen, empfiehlt sich unabhängig vom gewählten Ansatz und Modell ein robuster Skalenschätzer. Die benötigten Residuen werden dabei zweckmäßig durch eine robuste Filterung aus den Beobachtungen gewonnen. Eine deutliche

Verbesserung der Schätzung lässt sich aber erst durch den zusätzlichen Einsatz von robusten Autokorrelations-Schätzern erzielen. Die in dieser Arbeit neu entwickelte Methode zur robusten Schätzung einer Autokorrelations-Funktion erweist sich auch für die Schätzung von spektralen Dichtefunktionen in parametrischen Modellen als hervorragend geeignet. In Verbindung mit einem Ansatz, der auf der Äquivalenzbeziehung zwischen Kovarianz- und Korrelations-Koeffizienten beruht, können damit sämtliche parametrischen Spektralschätzer robustifiziert werden. Etwaige Probleme, die durch die unbekannte Ordnung der parametrischen Modelle entstehen, können durch die Verwendung von Informationskriterien beseitigt werden. Ihre ursprüngliche Funktionalität wird dabei so erweitert, dass instationäre oder nicht invertible Modelle automatisch unterdrückt werden.
Nichtlineare Erweiterungen der spektralen Dichtefunktion erweisen sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit als wenig sinnvoll. Abgesehen von den Schwierigkeiten, die physikalische Interpretation einer verallgemeinerten spektralen Dichtefunktion sicherzustellen, kann der Einfluss grober Fehler auf die Schätzung kaum von den Eigenschaften des gewählten Modells unterschieden werden. Eine Robustifizierung analog zum Muster des vorgestellten Schätzers für Autokorrelations-Funktionen scheitert an der Komplexität der dann erhaltenen Einflussfunktion. Aus diesen Gründen erfolgt eine konsequente Beschränkung auf lineare Systeme und Modelle. Die Wirksamkeit der hierfür neu entwickelten robusten Schätzer wird am Beispiel von drei realen geodätischen Anwendungen demonstriert.

Detang Zhong

Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze

Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 58, 1997

Die Kombination terrestrischer und satellitengestützter Beobachtungen für lokale Ingenieurnetze unter besonderer Berücksichtigung des Höhenproblems zählt zu den aktuellen Aufgaben der ingenieurgeodätischen Praxis und der wissenschaftlichen Forschung. Während es sich bei satellitengestützten Beobachtungen um geometrische Koordinaten handelt, sind die terrestrischen Beobachtungen schwerefeldbezogene Größen. Bei der Kombination treten nicht nur die Unterschiede in den Festlegungen des geodätischen Datums und in den stochastischen Eigenschaften der Beobachtungen in Erscheinung, sondern auch die verschiedenartige Natur der terrestrischen und der GPS-Koordinaten.
Zur kombinierten Verarbeitung der verschiedenen geometrischen und physikalischen Beobachtungen steht z.B. die sog. integrierte geodätische Ausgleichung zur Verfügung. Sie basiert auf der lokalen Schwerefeldapproximation aufgrund einer Vielzahl genauer Schwerefeldinformationen wie z.B. Schweremessungen, Lotabweichungen, Dichteverteilung, Kovarianzmodellparametern. Gewöhnlich stehen für lokale Ingenieurnetze jedoch weder das komplizierte deterministische und stochastische Modell der integrierten Geodäsie bzw. die entsprechenden Programme noch die erforderlichen detaillierten Schwerefeldinformationen zur Verfügung. Von der ingenieurgeodätischen Praxis ausgehend wurde deshalb ein praxisgerechteres Vorgehen (eine stufenweise Vorgehensweise) in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagen. Allgemein werden dabei die Beobachtungsinformationen auf vorläufige Parameter einschließlich ihrer Dispersion übertragen (Vorausgleichung) und in dieser Form für die Schätzung endgültiger Parameter unter Einschluss weiterer Informationen (Folgeausgleichung) bereitgestellt.
Bei der stufenweisen Vorgehensweise ergeben sich folgende wesentliche Probleme:
Elimination der Datumsunterschiede der verschiedenen Beobachtungstypen

Homogenisierung der stochastischen Informationen (Gewichte) der Beobachtungen
Genaue Darstellung und Bestimmung eines Höhenundulationsmodells, das als Verbindung zwischen den geometrischen und physikalischen Höhen betrachtet wird.
Neben den theoretischen Überlegungen zur Lösung dieser Probleme wurden verschiedene Lösungssansätze durch die praktische Bearbeitung von zwei hochgenauen Ingenieurnetzen mit unterschiedlichen Beobachtungsarten intensiv diskutiert. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:
Zur Elimination der Datumsunterschiede wurden zunächst zwei unterschiedliche Datumsanteile - der durch Beobachtungen bestimmbare und der nicht bestimmbare - unterschieden. Für die Elimination der beiden Datumsanteile stehen unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung. Die Datumsunterschiede, die die Beobachtungen nicht beeinflussen (z.B. das absolute Positionsdatum), können durch nachträgliche S-Transformation eliminiert werden. Demgegenüber haben die Datumsunterschiede, die in den Beobachtungen enthalten sind, eine inkonsistenten Einfluss, der sich störend auf eine Netzkombination und eine Genauigkeitsanalyse auswirken kann. Zur Beseitigung solcher Datumseinflüsse genügt die normale S-Transformation nicht. Als Hilfsmittel bieten sich zusätzliche Datumsparameter an. Handelt es sich bei den Beobachtungen um vorausgeglichene Koordinaten, so kann dem Datumproblem durch Elimination der äußeren Fehleranteile im stochastischen Modell begegnet werden. Dies geschieht mit Hilfe der defekterhöhten S-Transformation.
Die Homogenisierung stochastischer Informationen spielt eine besonders wichtige Rolle im Ausgleichungsprozess. Sie ist nicht nur für die endgültige gemeinsame Ausgleichung erforderlich, sondern auch für die Vorausgleichung einzelner Beobachtungstypen oder -gruppen wichtig. Die Methode der VKS ist bekannt. Jedoch müssen für stufenweise Ausgleichungen Erweiterungen an dem bestehenden VKM vorgenommen werden.
Zur genauen Darstellung des Höhenundulationsmodells wurde eine optimale Polynomapproximationsmethode vorgeschlagen. Mit dieser Methode können die Höhenundulationen für lokale Ausdehnungen mit hinreichender Genauigkeit approximiert werden. Dazu ist es wichtig, dass einerseits die zur Verfügung stehenden Beobachtungen eine ausreichend gute Qualität besitzen und andererseits die in das Modell eingeführten Parameter durch statistische Tests und das Kriterium minimaler Varianzen der interpolierten Höhenundulationen optimiert werden. Dazu sind die stochastischen Eigenschaften der Beobachtungen und ihre Datumsaspekte zu berücksichtigen.
Die numerischen Beispiele zeigen, dass die in dieser Arbeit vorgestellten Konzepte für die gemeinsame Ausgleichung terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen lokaler Ausdehnung geeignet sind. Gleichzeitig wurde auch gezeigt, dass GPS-Beobachtungen einen Beitrag zur Verbesserung der Genauigkeit leisten können. Insbesondere die Höhen können durch Kombination verschiedener Höhenarten unter Berücksichtigung eines optimalen lokalen Höhenundulationsmodells mit einer verbesserten Genauigkeit bestimmt werden. Ein wichtiges Ergebnis ist, dass der Einfluss des lokalen Schwerefeldes bei der Kombination berücksichtigt werden muss.
Alle Betrachtungen zur gemeinsamen Ausgleichung terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen mit nivellitischen Höhen bzw. bekannten Höhenundulationen basieren auf der stufenweisen Vorgehensweise. Als wesentliche Vorteile lassen sich nennen:

- einfaches modular aufgebautes Modell
- Integration vorhandener Programme
- Möglichkeit zu Plausibilitätskontrollen auf allen Ebenen
- bestmögliche Nutzung vorliegender Beobachtungsinformation durch netz- und gruppenweise Varianz-Komponenten-Schätzung.

Die grundlegende Vorgehensweise ist eine optimierte Kombinationsausgleichung terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen. Durch

- die optimale Ermittlung eines lokalen Höhenundulationsmodells,
- die Kompensation der Lotabweichungseinflüsse,
- die Betrachtung hybrider Datumseinflüsse und ihrer Elimination und
- die Betrachtung stochastischer Aspekte heterogener Beobachtungen

haben die vorgeschlagenen Verfahren eine signifikante Genauigkeitssteigerung zur Folge. Es ist sinnvoll, sie in der Praxis weiter zu erproben und anzuwenden.

Gerhard Joos

Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten

Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 66, 2000

Der Einsatz eines GIS für die Planung, für Verwaltung von rechtsverbindlichen Objekten, z.B. Flurstücke oder Schutzgebiete, für Fahrzeugnavigation und Flottenmanagement, für Geomarketing und für Leitungsdokumentation bringt nicht nur Vorteile in Form von Kosteneinsparung, schnellere Verfügbarkeit, höhere Aktualität und vor allem Analysemöglichkeiten, sondern birgt auch Gefahren in sich. Auf der Basis der Geodaten werden Entscheidungen gefällt, die sowohl Einfluss auf Investitionen haben als auch auf unsere Umwelt, und somit auch auf unsere Lebensqualität. Die Qualität der Daten ist deshalb besonders wichtig. Um qualitativ hochwertige Daten zu erhalten, muss ein der Anwendung angemessener Aufwand getrieben werden. Dieser Aufwand darf nicht nur mit den Kosten der Datenerfassung in Relation gestellt werden, sondern auch mit den Auswirkungen, die fehlerhafte Objekte in einem Geoinformationssystem bewirken können.
Um die Qualität von Geodaten ermitteln oder beurteilen zu können, muss zuerst klar definiert sein, welche Objekte der realen Welt wie in einem Geoinformationssystem repräsentiert werden sollen. Dazu muss ein Datenmodell aufgestellt werden, das aus den Teilen konzeptionelles, logisches und physikalisches Datenmodell besteht. Das Datenmodell legt die Objektauswahl, deren Eigenschaften, die Struktur und Regeln fest.
Die Beschreibung der Daten erfolgt durch Metadaten. Sie beinhalten nicht nur das Datenmodell, sondern auch alle Informationen über den Entstehungsprozess der Daten und ein Qualitätsmodell, das einem potentiellen Anwender von Geodaten ein Urteil ermöglicht, ob die Geodaten für eine beabsichtigte Anwendung geeignet sind. Zur Beschreibung des Qualitätsmodells müssen Qualitätskriterien und Qualitätsmaße eingeführt werden. Die Kriterien sind erforderlich, um Datenfehler taxieren zu können, da nicht alle Fehlerarten gleiche Auswirkungen für die Anwendungen haben. Es wurde gezeigt, dass die vier Kriterien „Vollständigkeit", „Richtigkeit", „Genauigkeit" und „Konsistenz" zur Einordnung von Datenfehlern ausreichend, aber nicht immer eindeutig sind. Wenn keine Mehrdeutigkeiten zugelassen sind, müssen Zusatzregeln als Entscheidungshilfen bei der Behandlung aller anwendungsspezifischer Spezialfälle angegeben werden.
Auf Basis dieser vier Kriterien werden die Qualitätsmaße eingeführt, die entweder objektbezogen oder bezogen auf Gebiete definiert werden können. Die Qualitätsmaße können durch Festlegung von Grenzwerten zur Formulierung von Qualitätszielen verwendet werden. Qualitätsziele sind insbesondere im Rahmen eines Qualitätsmanagements erforderlich. Das Qualitätsmanagement dient zur Überwachung und zur Dokumentation, dass die Ziele eingehalten und mögliche Fehlerursachen früh erkannt werden, damit die Erfassung und Fortführung von Geodaten auf einem hohen Qualitätsniveau erfolgen und durch ständige Rückkopplungen weiter verbessert werden. Das Qualitätsmanagement kann durch 20 QS-Elemente in Anleh-

nung an ISO 9000 ff beschrieben werden. Kernstück des Qualitätsmanagement sind regelmäßige Prüfungen. Zur Prüfung von Geodaten können zwei Arten der Prüfung unterschieden werden. Prüfungen können automatisch ablaufen oder interaktiv durch einen menschlichen Prüfer und sie können auf den gesamten Datenbestand angewandt werden oder nur auf Stichproben, deren Prüfergebnisse auf den Gesamtdatenbestand hochgerechnet werden.
Automatische Prüfungen können nur zur Kontrolle der Konsistenz, d.h. der Einhaltung von Regeln des Datenmodells, herangezogen werden. Die Regeln beziehen sich auf die konzeptionelle, logische oder physikalische Ebene der Datenmodellierung. Zur Überprüfung der konzeptionellen Konsistenz wurde ein Regelwerk aufgestellt, mit dem Konsistenzbedingungen für topographische Daten formuliert werden können. Eine Prüfsoftware, die diejenigen Objekte und Konstellationen aufdeckt, die diesen Regeln widersprechen, wurde entwickelt. Die Prüfung wird von einem implementierungsunabhängigen Regelkatalog gesteuert. Zur Anpassung an Änderungen und Erweiterungen des Datenschemas braucht nur der Regelkatalog fortgeführt zu werden. Die Bedingungen zur Suche nach Inkonsistenzen werden mit Hilfe der Prädikatenlogik und des 9-Intersection-Modells zur Beschreibung von topologischen Beziehungen formuliert. Automatische Prüfungen müssen auf dem gesamten Datenbestand durchgeführt und entdeckte Fehler korrigiert werden, bevor die Daten einer Anwendung zugeführt werden dürfen.
Wenn eine vollständige Prüfung des gesamten Datenbestandes mit zu großem Aufwand verbunden ist, weil diese z.B. zu lange dauert und die Daten schnell benötigt werden oder die Kosten für die Prüfung das Budget oder den Nutzen übersteigen, so kann unter bestimmten Voraussetzungen eine Stichprobenkontrolle durchgeführt werden. Die Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Anzahl von fehlerhaften Objekten in einer Stichprobe zu finden, errechnet sich nach der hypergeometrischen Verteilung. Zur Aufstellung eines Stichprobenplanes, bestehend aus dem erforderlichen Stichprobenumfang und einer zugehörigen Annahmezahl, wird eine annehmbare Qualitätsgrenzlage und rückzuweisende Qualitätsgrenzlage benötigt. Diese kann entweder durch Absprache zwischen Produzent und Anwender der Daten festgelegt oder nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ermittelt werden. Verschiedene Strategien zur Reduzierung des durchschnittlichen Stichprobenumfanges werden diskutiert.
Die Dokumentation der durchgeführten Kontrollen und deren Ergebnisse ist für die Einschätzung der Zuverlässigkeit der Geodaten wichtig. Verschiedene Ansätze zur Verwaltung dieser Informationen zusammen mit weiteren Metadaten wurden diskutiert. Abhängig davon, ob das einzelne Objekt oder eine Gruppe von Objekten die Bezugsgröße für Qualitätsinformationen darstellt, sind unterschiedliche Konzepte zur Verwaltung der qualitätsbezogenen Metadaten möglich.
In dieser Arbeit wurden die Aspekte der Datenqualität behandelt. An verschiedenen Stellen wurde deutlich, wie wichtig das Modell für die Verwendbarkeit von Geodaten ist. Die Aspekte der Modellqualität wurden nur gestreift. Der Autor ist sich bewusst, dass in diesem Bereich noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Die Crux besteht darin, dass die Bewertung von Modellen sehr eng an die jeweilige Anwendung gebunden ist, und somit ein allgemein gültiger Formalismus zur Bewertung der Modellqualität kaum angegeben werden kann.
Wenn die Qualität von Geoinformationssystemen oder von aus GIS abgeleiteten Informationen beurteilt werden soll, müssen alle Komponenten eines GIS betrachtet werden (*Joos, 1994*). Dabei kommen Aspekte wie Ausfallsicherheit von Hardware, Antwortzeitverhalten bei Datenzugriffen, Effizienz und Richtigkeit von Algorithmen zur Analyse von Geodaten sowie Auswirkungen oder Sensibilitätsuntersuchungen von Datenfehlern zum Tragen. Dazu ist ein Qualitätsmodell für Arbeitsergebnisse und Entscheidungen, die mit einem GIS erzeugt wurden wünschenswert. Da ein solches Modell nicht verfügbar ist, besteht auch hier Forschungsbedarf. Mit den in dieser Arbeit vorgeschlagenen Kriterien erscheint eine Berechnung oder Abschätzung der Auswirkung von der Datenqualität auf die Ergebnisqualität möglich. Unter

dieses Thema fällt auch die Beurteilung der Qualität von Diensten mit Geodaten, wie sie durch die Interoperabilität von GIS möglich werden.
Die Aktualität von Geodaten wurde nicht als Qualitätskriterium behandelt, sondern als Element der Metadaten betrachtet. Sie ist ein entscheidendes Indiz für die Verwendbarkeit der Geodaten in den meisten Anwendungen. Durch die Dokumentation des Entstehungs- und Änderungsdatums, welches die Daten tragen, ist noch kein aktueller Datenbestand gewährleistet. Im Bereich der Fortführung durch Einrichtung von Meldediensten oder durch automatisierte Erkennung von Objekten aus Fernerkundungsdaten, sowie durch Fortführung von Datenbeständen einer Maßstabsebene und Propagierung der Änderungen in die anderen Maßstabsebenen durch Generalisierung sind nur Teilaspekte gelöst.
Um Informationen über die Qualität von Geodaten einem Anwender zugänglich zu machen, insbesondere, wenn die Informationen nicht nur allgemeiner, beschreibender Natur sind, sondern in enger Verknüpfung mit den Daten stehen oder selbst einen Raumbezug haben, wie in dieser Arbeit vorgeschlagen, werden standardisierte Zugriffsmechanismen oder Austauschformate erforderlich. Verschiedene Organisationen und Gremien arbeiten teils konkurrierend teils kooperierend zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit an Normen für Geoinformation. Zum Wohle der Nutzer von Geoinformationssystemen ist es wichtig, dass erstens diese Normen vollständig und anwendbar sind, zweitens die Systemhersteller Mechanismen bereitstellen, damit diese Normen angewandt werden können und drittens die Datenproduzenten die ermittelten Qualitätsmaße den Endnutzern zugänglich machen.

Harald Sternberg

Zur Bestimmung der Trajektorie von Landfahrzeugen mit einem hybriden Messsystem

Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 67, 2000

Der Bedarf an schneller Verfügbarkeit von Informationen über alle Arten von Verkehrswegen wächst ständig an. Viele Automobilhersteller bieten Navigationssysteme an, die auf Grundlage einfacher Navigationsinstrumente wie GPS, Kurskreisel oder Magnetfeldsensoren und Wegsensoren unter Zuhilfenahme einer digitalen Kartengrundlage die Position des Fahrzeuges darstellen und auch Fahrhinweise geben. Für diese Verkehrsführung müssen die Kartengrundlagen und die Zusatzinformationen über die Verkehrswege, wie Auslastung durch den Verkehr, Durchfahrtsbreiten und -höhen und ähnliches immer auf dem neuesten Stand sein. Eine traditionelle, terrestrische Vermessung ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht in der Lage die Aktualität zu erhalten. Luftbildauswertungen ermöglichen zwar die schnelle Verfügbarkeit von geometrischen Informationen, Zusatzinformationen über verkehrsrelevante Objekte, wie z.B. der Verkehrsschilder mit ihren Hinweisen sind damit aber nur schwer erfassbar. Ein System, das in kurzer Zeit alle geometrischen, topologischen und attributiven Daten erfassen und den Informationssystemen zur Verfügung stellen kann, ist das kinematische Vermessungssystem KiSS - *Kinematic Survey System,* wie es an der Universität der Bundeswehr entwickelt wurde.
Dieses Multisensorsystem integriert neben den Sensoren zur Positions- und Orientierungsbestimmung, wie GPS, INS und weiteren Stützsensoren, auch Sensoren zur Erfassung des Umfeldes, hauptsächlich zwei CCD Kameras. Ausgehend von der Forderung, eine genaue kinematische Vermessung von einem handelsüblichen Fahrzeug ohne Behinderung des fließenden Verkehrs zu ermöglichen, wurde eine Geschwindigkeit des Fahrzeuges von 70 km/h und eine Bilderfassungsrate von 1 Hz festgelegt. Ziel ist die Positionierung von Objekten mit einer absoluten Standardabweichung von besser als 0,5 m und einer relativen von besser als 0,1 m. Aus diesen Festlegungen lassen sich Forderungen an die Genauigkeit der Sensoren ableiten,

die für eine kontinuierliche Positionsbestimmung und für die dreidimensionale Orientierung des Fahrzeuges verwendet werden müssen, um auch für Objekte in 50 m Entfernung die Rahmenbedingungen einzuhalten. Dabei ist diese gleichbleibende Genauigkeit auch bei Ausfall der GPS-Messungen über wenigen Minuten zu berücksichtigen. Aus dieser Forderung nach einer hohen Positioniergenauigkeit ergibt sich zwangsläufig auch die zeitliche Trennung von Messung und Auswertung. In Echtzeit kann während der Messung nur die Datenintegrität überprüft und visualisiert und eine einfache Positionsbestimmung gerechnet werden. Die eigentliche, genaue Positions- und Lagebestimmung und die Bildauswertung erfolgen in einer Nachbearbeitungsphase, in der komplexere Filteralgorithmen durchlaufen werden. So werden im ersten Auswerteschritt die Sensoren getrennt voneinander korrigiert und die Messwerte unabhängig voneinander geglättet.
Durch die Kompensation von systematischen Abweichungen der Sensoren INS und Neigungsmesser stehen die Lagewinkel nach der Glättung mit einer Standardabweichung von 0.01° zur Verfügung stehen.
Bei den GPS-Auswertungen wird auf eine Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten verzichtet. Dies wird durch einen GPS-Filter realisiert, der die Phaseninformation als Phasenrate nutzt und neben der aktuellen Position auch die Geschwindigkeit für eine weitere Integration mit anderen Subsystemen zur Verfügung stellt. Mit diesem Filteransatz sind kinematische Positionsbestimmungen mit einer Standardabweichung von 0,3 m bis 0,5 m möglich.
Durch Berücksichtigung der Korrekturgrößen für den optischen Wegsensor und geeigneter Glättungsalgorithmen für die Geschwindigkeit kann diese auf 0,001% geschätzt werden. Ein dynamisches Korrekturmodell für das Barometer wird aufgestellt, das die Geschwindigkeit des Trägerfahrzeuges bei der Ermittlung der Höhe berücksichtigt, so dass nach der Glättung eine Standardabweichung von ungefähr 0,3 m bei guten Messbedingungen für die Barometerhöhen erreichbar ist.
Zwei grundsätzliche Integrationsmodelle für die Verknüpfung von inertialen Navigationssystemen mit GPS, das dezentralisierte bzw. das zentralisierte Filter werden dargestellt und verglichen. Die Bewegungsmodelle und die stochastischen Modelle, die dem Haupt-Kalman-Filter zugrunde liegen, werden entwickelt. Mit diesem Filteransatz lassen sich die Beobachtungen der verschiedenen Sensoren in einem räumlichen Modell integrieren, das eine Standardabweichung der zweidimensionalen Position des Systems von 0,35 m unter guten bis durchschnittlichen Bedingungen auf Autobahnen und Landstraßen ermöglicht.
Die Ergebnisse der einzelnen Sensoren bzw. der Systeme und das Ergebnis des Hauptfilters werden auf drei unterschiedlichen Teststrecken analysiert. Dabei werden zunächst die Beobachtungen getrennt analysiert und schließlich das Ergebnis des Hauptfilters beurteilt. Für eine Genauigkeitsbetrachtung des Gesamtsystems einschließlich der Objekterfassungskomponenten werden CCD-Bildpaare photogrammetrisch ausgewertet, mit terrestrisch bestimmten Kontrollpunkten überprüft und das Ergebnis beurteilt. Dabei wurde die Absolutgenauigkeit der Positionierung der Objekte mit dem System KiSS in der Ebene mit einer Standardabweichung von besser als 0,5 m bestätigt.
Aus der Punktfolge der berechneten Fahrzeugpositionen lassen sich in einem weiteren Schritt die Trassierungselemente der Straße, wie Gerade, Übergangsbogen und Kreis mit zufriedenstellender Genauigkeit ableiten (STERNBERG, CASPARY, 1994). Die Genauigkeit dieser Bestimmungstücke lässt sich aus den Bilddaten durch die automatische Erkennung und Auswertung der Fahrbahnränder noch verbessern.
Durch den modularen Aufbau lassen sich in das bestehende System weitere Sensoren einfach integrieren. Diese könnten die Aufgabe übernehmen, Schwächen der eingesetzten Systeme auszugleichen oder aber neue Anwendungsbereiche für das System zu erschließen.

Rolf Hollmann

Untersuchung von GPS-Beobachtungen für kleinräumige geodätische Netze

Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 69, 2000

Vor etwa 25 Jahren wurde vom US-Verteidigungsministeriums (DoD) die Entwicklung des Global Positioning System eingeleitet. Die Geodäsie zählt zu den Pionieren bei der Nutzung dieses Positionierungssystems. Gleichzeitig stellt sie die Nutzerklasse mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen. Die modernen Grundlagennetze sind auf das GPS-Bezugssystem WGS84 abgestimmt. EUREF und DREF Punkte bilden die oberen Verdichtungsstufen (A und B) der deutschen Landesvermessung. Großräumige GPS-Netze dienen zur Bestimmung der rezenten Kinematik der Erde.
In der Ingenieurvermessung werden klassische Verfahren mehr und mehr durch GPS-Messungen verdrängt. Das Messsystem dringt immer weiter in den "vermessungstechnischen Alltag" vor. Durch die Entwicklung der sogenannten Kurzzeitbeobachtungstechnik (Rapid Static) mit Beobachtungsdauern von nur wenigen Minuten pro Messpunkt ist GPS auch bei kleinräumigen Aufnahmen aus wirtschaftlicher Sicht konventionellen Techniken überlegen. Die Auswertesoftware hat einen Stand erreicht, dass routinemäßige Berechnungen ohne Spezialkenntnisse durchgeführt werden können.
Im Rahmen der Dissertation werden GPS-Beobachtungen speziell in Hinblick auf kleinräumige geodätische Netze diskutiert. Die Mess- und Auswerteansätze werden in bezug auf ihre Eignung für den genannten Anwendungsbereich untersucht. Die in der Geodäsie eingesetzten Mittel und Methoden zur Beurteilung von Genauigkeit und Zuverlässigkeit werden an die speziellen Bedürfnisse bei GPS-Messungen adaptiert.
Anhand formaler Genauigkeitskriterien werden einzelne Beobachtungsanordnungen untersucht und bewertet. Ein spezielles Problem sind die interepochalen Korrelationen bei der Phasenauswertung. Insbesondere bei Messungen mit hoher Sampling-Rate resultieren aus der Varianz-Kovarianz-Matrix der ausgeglichenen Koordinaten zu optimistische Genauigkeitsmaße. Eine Verbesserung des stochastischen Modellteils ist durch Verwendung empirischer Korrelationsfunktionen möglich, deren Parameter aus Langzeitbeobachtungsreihen abgeleitet werden. Die Auswirkung dieser Modellerweiterung wird ausführlich diskutiert.
Zuverlässigkeitsanalysen werden sowohl für die Phasenauswertung einzelner Basislinien als auch für die Basislinienausgleichung durchgeführt. Bei der Phasenauswertung ergeben sich bei Ansatz der konventionellen Alternativhypothese Redundanzanteile, die weit über denen terrestrischer Netze liegen. Der Einfluss eines nicht aufgedeckten Modellfehlers (Äußere Zuverlässigkeit) ist - bei entsprechend hoher Samping-Rate - gering. Wird hingegen die Alternativhypothese "Phasensprung in einer Beobachtung" eingeführt, resultieren z.T. konträre Ergebnisse.
Bei der Basislinienausgleichung ist zur Detektion von Punktverwechselungen prinzipiell eine dreidimensionale Alternativhypothese anzusetzen, da aus der koordinatenweisen Betrachtung (eindimensionale Alternativhypothese) zu optimistische Aussagen resultieren. Ein erheblicher Nachteil ist jedoch die schwierige Interpretations- und Darstellungsmöglichkeit der Ergebnisse. Ein sinnvoller Kompromiss ist die Trennung nach Lage und Höhe. Dieser Ansatz führt auf Zuverlässigkeitsellipsen für die Lagekomponente.
Zu den relevanten Einflussparametern bei GPS-Messungen in kleinräumigen Netzen zählen u.a. troposphärische Laufzeitstörungen, Phasensprünge und Mehrwegeffekte. Die zuvor genannten Störparameter werden detailliert untersucht. Mögliche Modellerweiterungen (Modifikation des funktionalen und/oder stochastischen Modells, Kalman-Filterung) werden diskutiert und speziell in Hinblick auf kleinräumige Netze bewertet.

Ein in der geodätischen Fachliteratur nur wenig beachteter Modellfehler ist ein Koordinaten-Offset im Referenzpunkt. Er bewirkt sowohl eine Änderung des geodätischen Bezugssystems als auch eine Störung der Beobachtungsgeometrie. Während der erste Effekt bei der Überführung der geozentrischen Koordinaten in ein ellipsoidisches System oder in ein Abbildungssystem auftritt und somit auf die Definition des Koordinatensystems zurückgeführt werden kann, beeinflusst der zweite Effekt unmittelbar die geozentrischen Koordinatendifferenzen. Es wird gezeigt, dass bei Basislinienlängen von 10 km Länge bereits Koordinatenfehler von mehreren Zentimetern resultieren können.
Die Mehrdeutigkeitsbestimmung nimmt eine Schlüsselrolle bei der geodätischen Nutzung des GPS ein. Die unterschiedlichen Verfahren zur Ermittlung der Phasenmehrdeutigkeitsparameter werden dargestellt und in bezug auf ihre Eignung für die vorliegende Aufgabenstellung diskutiert. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen die heute allgemein verwendeten Test- und Suchverfahren. Das Ambiguity Function-Prinzip besagt, dass bei Phasenmessungen zu ausreichend vielen Satelliten die Basislinie - und somit auch die Phasenmehrdeutigkeit - zwischen zwei Empfangsstationen prinzipiell in einer einzigen Messepoche bestimmt werden kann. Voraussetzung ist, dass Näherungswerte mit entsprechender Genauigkeit vorliegen.
Das entscheidende Kriterium für eine erfolgreiche Mehrdeutigkeitssuche ist der Quotient aus der Verbesserungsquadratsumme von zweitbester und bester Lösung: Je größer dieser Wert, desto sicherer kann die richtige Integer-Variante isoliert werden. In Simulationsstudien werden einzelne Einflussparameter wie Beobachtungsdauer, Anzahl verwendeter Satelliten sowie Phasenmessgenauigkeit analysiert. Mit Hilfe realer Datensätze werden Leistungsfähigkeit und Grenzen dieses Verfahrens in der Praxis demonstriert.
Die Beobachtungsverfahren bei GPS-Messungen in kleinräumigen Netzen haben sich in den letzten Jahren gewandelt: Durch den Einsatz von Real-Time Ausrüstungen stehen die Ergebnisse unmittelbar im Feld zur Verfügung, die Nutzung von GPS-Diensten ermöglicht eine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Die in der vorliegenden Arbeit diskutierten grundlegenden Problemstellungen sind jedoch weiterhin aktuell und bei hochpräzisen Anwendungen zu berücksichtigen.

Seminare, Weiterbildungsveranstaltungen und Workshops

Seminar **Deformationsanalysen**
01.03.1978
Veröffentlichung der Vorträge:
Deformationsanalysen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 4, 106 Seiten, Neubiberg, 1979

Seminar **Deformationsanalysen '83 – Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen geodätischer Netze**
22.04.1983
Veröffentlichung der Vorträge:
Deformationsanalysen '83 – Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen geodätischer Netze, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 9, 336 Seiten, Neubiberg, 1983

Seminar **Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung**
23.09.1983
Veröffentlichung der Vorträge:
Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 11, 270 Seiten, Neubiberg, 1983

Seminar **Satelliten-Doppler-Messungen**
24.-25.09.1984
Veröffentlichung der Vorträge:
Satelliten-Doppler-Messungen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, 394 Seiten, Neubiberg, 1984

Seminar **Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys**
Joint Meeting of Study Group 5b and 5c of the International Federation of Surveyors
01.-03.07.1985
Veröffentlichung der Vorträge:
Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20-1 und 20-2, 630 Seiten, Neubiberg, 1985

Seminar **Inertialvermessung**
zusammen mit dem Institut für Erdmessung und Navigation der UniBwM
25.-26.09.1986
Veröffentlichung der Vorträge:
Beiträge zur Inertialgeodäsie, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, 386 Seiten, Neubiberg, 1989

Seminar **Deformationsmessungen**
04.-06.03.1987
18. DVW-Seminar

Seminar **Moderne Verfahren der Landesvermessung**
zusammen mit dem Deutschen Verein für Vermessungswesen (22. DVW – Seminar)
12.-14.04.1989
Veröffentlichung der Vorträge:
Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-1 und 38-2, 551 Seiten, Neubiberg, 1989

Seminar **Rezente Krustenbewegungen**
08.-09.06.1989
Veröffentlichung der Vorträge:
Rezente Krustenbewegungen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, 303 Seiten, Neubiberg, 1989

Seminar **Geodätische Messverfahren im Maschinenbau**
18.-19.03.1991
Veröffentlichung der Vorträge:
Geodätische Messverfahren im Maschinenbau, Schriftenreihe des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Band 1, 283 Seiten, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1992

Seminar **GPS im praktischen Einsatz**
12.-14.05.1993
Veröffentlichung der Vorträge:
Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, 312 Seiten, Neubiberg, 1993

Seminar **Hybride Vermessungssystems – Grundlagen und Anwendungen**
19.-20.06.1997
Veröffentlichung der Vorträge:
Hybride Vermessungssystems – Grundlagen und Anwendungen, Schriftenreihe des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Band 29, 215 Seiten, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1998

Seminar **GPS – Tagung München**
4.11.1998

Seminar an der Technischen Akademie Esslingen
-Aufbau und Einsatz von Geo-Informationssystemen-

13. und 14.11.1995
11. und 12.11.1996
10. und 11.11.1997
09. und 10.11.1998
22. und 23.11.1999
20. und 21.11.2000
19. und 20.11.2001

Fort- und Weiterbildungslehrgang für Offiziere des MilGeoDienstes

06.10. bis 17.10.1997
15.06. bis 26.06.1998
31.05. bis 11.06.1999
18.06. bis 29.06.2001

Seminar GIS im Internet/Intranet

18.05. bis 20.05.1998
10.05. bis 12.05.1999
29.05. bis 31.05.2000
21.05. bis 23.05.2001

Veröffentlichungen

1974

Grafarend, E.: Optimisation of geodetic networks. Bolletino di Geodesia e Scienze Affini 33, S. 351-406, 1974

Grafarend, E.: Vermessungskreisel im System der dreidimensionalen Geodäsie. Mitteilungen Markscheidewesen, S. 179 – 190, 1974

Grafarend, E., Jansen, M.: Variationsprinzipien und Näherung nullter Ordnung der Erdfigur. Zeitschrift für Vermessungswesen 99, S. 96 - 106, 1974

Schödlbauer, A.: Hochschule der Bundeswehr München. Zeitschrift für Vermessungswesen 99, S. 82, 1974

1975

Grafarend, E.: Threedimensional Geodesy I – The Holonomity Problem. Zeitschrift für Vermessungswesen 100, S. 269 - 281, 1975

Grafarend, E.: Second order design of geodetic nets. Zeitschrift für Vermessungswesen 100, S. 158 - 168, 1975

Grafarend, E., Offermanns, G.: Eine Lotabweichungskarte Westdeutschlands nach einem geodätisch konsistentem Kolmogorov-Wiener-Modell. Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission A 82, München, 1975

Heister, H.: Bestimmung der günstigen Bobachtungsanordnung in lokalen Lagenetzen mit Hilfe der Methode der dynamischen Optimierung, Dissertation, München, 1975

1976

Defrise, P., Grafarend, E.: Torsion and anholonomity of geodetic frames. Boll, geod. sc. aff. S. 81-92, 1976

Grafarend, E.: Threedimensional Geodesy III-Refraction. Boll, geod. sc. aff. S. 153-160, 1976

Grafarend, E.: The threedimensional Laplace theorem. Zeitschrift Nauk Geod. 45, S. 27 – 34, 1976

Grafarend, E., Schaffrin, B.: Equivalence of estimable quantities and invariants in geodetic networks. Zeitschrift für Vermessungswesen 101, S. 485-491, 1976

Grafarend, E., Schmitt, G.: Über die Optimierung lokaler geodätischer Netze. Beitr. VII Intern. Kurs Ing.mess. Darmstadt, Bd. 1, S. 63-78, 1976

Kelm, R.: Zur analytischen Optimierung geodätischer Netze: Allgemeine Analyse bis zur Entwicklung der Minoren- und Graphenmethode. Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, C 220, München, 1976

Schödlbauer, A.: Die Ausbildung am Wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen an der Hochschule der Bundeswehr München. Allgemeine Vermessungs Nachrichten 83, S. 283-289, 1976

Schödlbauer, A.: Geodätische Ausbildung an der Hochschule der Bundeswehr München. Festschrift zum 175-jährigen Bestehen der bayerischen Vermessungsverwaltung. S.260 – 266, München, 1976

Welsch, W.: Ein Beitrag zur Formierung der Disziplin "Ingenieurgeodäsie" als Forschungs- und Lehrgebiet. Zeitschrift für Vermessungswesen 101, 3, S. 97-104, 1976

Welsch, W.: Signifikanzen und Sensitivitäten in technischen Netzen. In: Festschrift für Ernst Gotthardt, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 216, S. 154-163, München, 1976

Welsch, W.: Zur Berechnung mehrfach beobachteter Polygonzüge bei genauen Ingenieurvermessungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 83, S. 321-328, 1976

Welsch, W.: 1950 - 1975: 25 Jahre deutsche Forschung in Nepal - Das moderne Kartenwerk. Alpinismus 14, S. 12-13, 1976

1977

Grafarend, E.: Geodäsie – Gaußsche oder Cartansche Flächengeometrie? Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, S. 139 – 150, 1977

Grafarend, E.: Space-time differential geodesy. Rep. Ohio State Univ., Nr. 250, Teil 1, S. 150 - 216

Grafarend, E., Hauer, K.: The Equilibrium Figure of the Earth. Veröffent. Zentralinst. Physik der Erde Potsdam, Nr.52, Teil 2, S. 239 – 255, 1977.

Grafarend, E., Richter, B.: The Generalized Laplace Condition. Bull. géod., S. 287 – 293, 1977

Ebner, H., Krack, K., Schubert, E.: Genauigkeitsmodelle für die Bündelblocktriangulation. Bildmessung und Luftbildwesen 5, S. 141 – 148, 1977

Welsch, W.: Ein Beitrag zur optimalen Gewichtsverteilung bei der Ausgleichung heterogenen Beobachtungsmaterials. Proceedings XV. International FIG Congress, personal paper, Stockholm, 1977

Welsch, W.: Hochgebirgskartographie. Lexikon der Alpen, S. 205-207, C. Bertelsmann, Lexikon-Verlag, Gütersloh, 1977

Welsch, W.: Über die Reichweite und Genauigkeit der Formeln nach Hristow zur Transformation ellipsoidisch-geographischer Koordination. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie 65, S. 6-16, 1977

1978

Caspary, W.: Zur Lösung singulärer Ausgleichungsmodelle durch Bedingungsgleichungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 85, S. 81-87, 1978

Caspary, W., Geiger, A.: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungsmesser. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 3, Neubiberg, 1978

Grafarend, E.: The definition of the telluroid, Bull. geod., S. 25-37, 1978

Grafarend, E.: Dreidimensionale geodätische Abbildungsgleichungen und die Näherungsfigur der Erde, Zeitschrift für Vermessungswesen 103, S. 132-140, 1978

Grafarend, E.: Operational Geodesy. In [J (ed.): Approximation Methods in Geodesy, ed. (H. Moritz and H. Suenkel] Wichmann Verlag, Karlsruhe, S. 235-284, 1978

Grafarend, E.: Schätzung von Varianz und Kovarianz der Beobachtungen in geodätischen Ausgleichungsmodellen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 85, S. 41-49, 1978

Grafarend, E.: Marussian Geodesy, Boll. di Geodesia e Scienze Affini 37, S. 209-247, 1978

Grafarend, E.: Report - IAG special study group 4.45, the mathematical structure of the gravity field. Proc. Math. Structure of the Gravity Field, S. 1 – 6, Athen, 1978

Grafarend, E.: Space Time Geodesy. Proc. Math. Structure of the Gravity Field, , S. 68 - 107, Athen, 1978

Grafarend, E., Hauer, K.: The Equilibrium Figure of the Earth I. Bull. géod., S. 251 - 267, 1978.

Grafarend, E., Heinz, K.: Rank defect analysis of satellite geodetic networks II - dynamic mode-. manuscripta geodaetica 3, 1978

Grafarend, E., d'Hone, A.: Gewichtsschätzung in geodätischen Netzen. Veröffentlichung der Deutschen Geodätischen Kommission, A 88, München, 1978

Grafarend, E., Livieratos, E.: Rank defect analysis of satellite geodetic networks I - geometric and semidynamic mode - manuscripta geodaetica 3, 1978

Grafarend, E., Richter, B.: Threedimensional geodesy II - The datum problem, Zeitschrift für Vermessungswesen 103, S. 44-59, 1978

Grafarend, E., Schmitt, G., Schaffrin, B.: Kanonisches Design geodätischer Netze I. manuscripta geodaetica 3, 1978

Heister, H.: Die diskrete dynamische Otimierung und ihre Anwendung beim geodätischen Netzentwurf, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 85, 2, S. 64-81, 1978

Kammer, B., Rosenmeier, L., Welsch, W.: Die amtliche Vermessung des Zugspitzplatts von Beginn der Landesvermessung bis heute. Mitteilungsblatt des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Landesverein Bayern 30, S. 152-163, 1978

Kelm, R.: Ist die Varianzenschätzung nach Helmert MINQUE? Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 85, S. 49-54, 1978

Peters, K., Welsch, W.: Geodätische Netze im Hochgebirge. Proceedings 2. Internationale Geodätische Woche für Hochgebirgsgeodäsie, S. 189-195, Obergurgl, Österreich, 1978

Schödlbauer, A.: Curriculum für den Wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen der HSBw München. Schriftenreihe Wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 1, Neubiberg, 1978

Welsch, W.: A posteriori Varianzenschätzung nach Helmert. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 85, S. 55-63, 1978

Welsch, W.: Hochgebirgskarten im Wandel der Zeit. Alpinismus 16, S. 10-13, 1978

Welsch, W.: Überwachung mikrotektonischer Bewegungen mit Hilfe lokaler geodätischer Netze, gezeigt an einem Beispiel in den peruanischen Anden. Proceedings 2. Internationale Geodätische Woche für Hochgebirgsgeodäsie, S.157-188, Obergurgl, Österreich, 1978

Welsch, W.: Zusammenführung verschiedener Konzepte zur Ausgleichung freier Netze. In: Festschrift für Walter Höpcke, Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Hannover 83, S. 168-183, 1978

Welsch, W.: Entwicklung der Analyse von Deformationsmessungen mit Hilfe geodätischer Netze, II. Internationale Symposium über Deformationsmessungen, Proceddings, Bonn, 1978

1979

Caspary, W.: Zum Problem der stufenweisen Ausgleichungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 6, S. 218-266, 1979

Caspary, W.: Deformationsanalysen. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 4, S. 67-83, Neubiberg, 1979

Caspary, W., Geiger, A.: Laboruntersuchungen von elektronischen Neigungsmessern. Zeitschrift für Vermessungswesen 9, S. 410-420, 1979

Grafarend, E.: Kriterion - Matrizen I - zweidimensionale homogene und isotope geodätische Netze - Zeitschrift für Vermessungswesen 104, S. 133-149, 1979

Grafarend, E.: Space-Time Geodesy, Bolletino die Geodesia e Scienze Affini 38, S. 551-589, 1979

Grafarend, E., Heister, H., Kelm, R., Kropff, H., Schaffrin, B.: Optimierung geodätischer Messoperationen, Wichmann-Verlag, Karlsruhe, 1979

Grafarend, E., Mueller, J., Papo, H., Richter, B.: Investigations on the hierarchy of reference frames in geodesy and geodynamics, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Report 289, Columbus 1979

Grafarend, E., Kleusberg, A., Richter, B.: Free doppler network adjustment, Proceedings of the Second International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning. Vol. 2, S. 1053-1069, Austin, 1979

Schödlbauer, A.: Übertragung geographischer Koordinaten auf Bezugsellipsoiden durch Zurückführung der Legendreschen Reihen auf strenge Formeln der sphärischen Trigonometrie. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 86, S. 137-144, 1979

Welsch, W.: A Geodetic Micro-Network for Monitoring Tectonic Movements in a Peruvian Earthquake Fault Zone. In: Vogel, A. (Hrsg): Terrestrial and Space Techniques in Earthquake Prediction Research, S. 531-542, Brauschweig / Wiesbaden, 1979

Welsch, W.: Entwicklung der Analyse von Deformationsmessungen mit Hilfe geodätischer Netze. In: Baumann, E. et al (Hrsg.): Seminar über Deformationsanalysen, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 4, S. 5-15, Neubiberg, 1979

Welsch, W.: A Review of the Adjustment of Free Networks. Survey Review XXV/ 194, S. 167-180, 1979

1980

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Die dynamische Optimierung und ihre Anwendung bei der optimalen Gradientenführung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4, S. 166-178, 1980

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Ein interaktives Programmsystem zur Entwicklung einer optimalen Trasse auf der Grundlage topographischer Karten. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4, S. 178-191, 1980

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Erfahrungen mit einem interaktiven Programmsystem bei der Trassenoptimierung für schienengebundene Hochgeschwindigkeitsstrecken. Proceedings VIII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, C4: 1-14, Zürich, 1980

Caspary, W., Schwintzer, P.: Mathematische und statistische Methoden zur Aufdeckung relativer Bewegungen von Punktgruppen in geodätischen Netzen. Proceedings VII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, B13: 1-13, Zürich, 1980

Geiger, A.: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Untersuchung und Kalibrierung geodätischer Instrumente. VIII. Internat. Kurs für Ingensieurvermessung, A13, Zürich, 1980

Grafarend, E., Kleusberg, A.: Expectation and variance component estimation of multivariate gyrotheodolite observation I. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 87, S. 129-137,1980

Krack, K.: Rechnerunterstützte Entwicklung der Legendreschen Reihen. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 145-156, 1980

Schödlbauer, A.: Berechnung von Längen und Azimuten geodätischer Linien auf Bezugsellipsoiden durch Zurückführung der Gauß-Helmertschen Mittelbreitenformeln auf strenge Formeln der sphärischen Trigonometrie. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 87, S. 61-69, 1980

Schödlbauer, A.: Kugeln als Hilfsflächen bei der Lösung der beiden geodätischen Hauptaufgaben. Festschrift zur Emeritierung von o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl Hubeny, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 35, S. 193-200, Graz, 1980

Schödlbauer, A.: Einsatz von Lasern in der Geodäsie. Sammlung von Vorträgen zur Tagung "Anwendung der Lasertechnologie in der Wehrtechnik", Hamburg, 1980

Welsch, W.: Numerische Untersuchungen zur Signifikanz- und Sensitivitätsanalyse von Überwachungsnetzen. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, S. 385-398, Stuttgart, 1980

Welsch, W.: Some Techniques for Monitoring and Analyzing Deformations and Control Nets, Lectures given at The Wuhan College of Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Peoples Republic of China. Lecture Notes, Wissenschaftlicher Studiengang Vemessungsrwesen, Hochschule der Bundeswehr München, München 1980
Die Vorlesungsreihe ist auch als Monographie in chinesischer Sprache veröffentlicht, Wuhan, 1980

Welsch, W.: Möglichkeiten und Probleme der Überwachung tektonischer Bewegungen mit Hilfe geodätischer Mikronetze. Münster. Forsch. Geol. Paläont. 51, S. 107-125, Münster, 1980

Welsch, W.: A posteriori Varianzenschätzung im erweiterten Ausgleichungsmodell nach der Methode der kleinsten Quadrate. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, S. 213-226, Stuttgart, 1980

Welsch, W.: Ein Algorithmus zur Schätzung von Varianzen und Kovarianzen geodätischer Beobachtungen. Proceedings FIG Symposium Commission 5 "Automated Processing of Surveying Data", S. 193-207, Varna, Bulgarien, 1980

Welsch, W.: Übersicht über die Schätzung von Varianzen und Kovarianzen geodätischer Beobachtungen für den praktischen Gebrauch. VIII. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, B7, Zürich, 1980

Welsch, W., Kelm, R.: Numerische Studie über den Einfluss der Kovarianzmatrix der Altpunkte auf die Genauigkeit der Einschaltung eines Neupunktes. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, S. 227-238, Stuttgart, 1980

1981

Baumer, R.: Methods of variance analysis for the evaluation of geodetic control nets in relation to crustal movements. In: Isikara, A., Vogel, A. (Hrsg.): Multidisciplinar Approach to Earthquake Prediction, Braunschweig / Wiesbaden, 1981

Caspary, W., Heister, H.: Erfahrungen mit Vermessungskreiseln in einem Testnetz. Proceedings XVI. Internationaler FIG-Kongress Montreux, 503.4, Montreux, 1981

Caspary, W., Schwintzer, P.: Bestimmung von Einzelpunktbewegungen und von Relativbewegungen zweier Netzteile in geodätischen Deformationsnetzen. Zeitschrift für Vermessungswesen 106, S. 277-288, 1981

Caspary, W., Hester, H., Schwintzer, P.: Orientation of Geodetic Networks by Gyro Azimuths. IAG Symposium on Geodetic Networks and Computations, München, 1981

Caspary, W., Schwintzer, P.: An Extension of Chronometric Gyroscope Observation Methods. The Canadian Surveyor, S. 364-372, 1981

Geiger, A.: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Untersuchung und Kalibrierung geodätischer Instrumente. In: Cozett / Matthias / Schmid (Hrsg.): Ingenieurvermessung '80, A13, Bonn, 1981

Heister, H., Welsch, W.: Aufbau des Testnetzes "Inntal" als Beitrag zu den Problemen geodätischer Netze im Hochgebirge, Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1981. Mitteilungen des Instituts für Geodäsie der Universität Innsbruck 4, S. 143-161, Innsbruck, 1981

Krack, K.: Die Umwandlung von Gaußschen konformen Koordinaten in geographische Koordinaten des Bezugsellipsoids. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 88, S. 173-178, 1981

Schödlbauer, A.: Gaußsche konforme Abbildung von Bezugsellipsoiden in die Ebene auf der Grundlage des transversalen Mercatorentwurfs. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 88, S. 165-173, 1981

Schödlbauer, A.: Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 1: Die geodätischen Grundaufgaben auf Bezugsellipsoiden im System der Geographischen Koordinaten und die Berechnung ellipsoidischer Dreiecke. Wichmann Skripten 2, Karlsruhe, 1981

Welsch, W.: Gegenwärtiger Stand der geodätischen Analyse und Interpretation geometrischer Deformationen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 88, S. 41-51, 1981

Welsch, W.: Present state of activities in the field of Survey Control Networks. Proceedings XVI. International FIG Congress, 501.3, Montreux, 1981

Welsch, W.: Description of homogeneous horizontal strains and some remarks to their analysis. Proceedings IAG Symposium on Geodetic Networks and Computations, München, 1981

Welsch, W.: Übersicht über die Schätzung von Varianzen und Kovarianzen geodätischer Beobachtungen für den praktischen Gebrauch. In: Conzett / Matthias / Schmid (Hrsg.): Ingenieurvermessung 80, Beiträge zum VIII. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessungen in Zürich, Band 1, S. B7/1-14, Bonn, 1981

Welsch, W.: Entwicklung der Analyse von Deformationsmessungen mit Hilfe geodätischer Netze. II. Internationales Symposium über Deformationsmessungen, S. 365-372, Wittwer, Stuttgart, 1981

Welsch, W.: Estimation of variances and covariances of geodetic observations. Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying 34, S. 1-14, 1981

Welsch, W.: Das Vermessungswesen und die universitäre geodätische Ausbildung in der Volksrepublik China. Zeitschrift für Vermessungswesen 106, S. 169-182, 1981

Welsch, W., Baumer, R.: Investigation and description of deformations in consideration of the geodetic datum. Proceedings XVI. International FIG Congress, 602.3, Montreux, 1981

1982

Baumer, R.: Methods of Variance Analysis for the Evaluation of Godetic Conrol Nets in Relation to Crustal Movements. In: Isikara, A. M., Vogel, A. (eds.): Multidiscyiplinary Approach to Earthquake Prediction, S. 325-333, Vieweg, Baunschweig, Wiesbaden, 1982

Borre, K.,Welsch, W. (Hrsg.): Survey Control Networks. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 7, München, 1982

Caspary, W.: Some Aspects Concerning the Datum of Geodetic Networks for Deformation Analyses. Proceedings III. Internationales Symposium über Deformationsmessungen mit geodätischen Methoden, Band 3, S. 123-135, Budapest, 1982

Caspary, W., Heister, H., Schwintzer, P.: Orientation of Geodetic Networks by Gyro Azimuths. Proceedings of the International Symposium on Geodetic Networks and Computations of the IAG, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 258/IV, S. 139-147, 1982

Caspary, W., Heister, H., Schwintzer, P.: Ein erweitertes chronometrisches Kreiselmessverfahren. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, S. 139-145, 1982

Caspary, W., Heister, H., Schwintzer, P.: Zur Netzorientierung durch Kreiselazimute. Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 461-468, 1982

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Bearbeitung des Vorentwurfs für ausgewählte Varianten mit dem Programmsystemen TROP. In: Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. Schriftenreihe Wissenschaftliche-Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 6, S. 159-174, München, 1982

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Gedanken zum interaktiven rechnergestützten Entwerfen von Trassen für Verkehrssysteme. In: Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 6, S. 80-101, München, 1982

Caspary, W., Heister, H., Welsch, W.: Die dynamische Optimierung beim Gradientenentwurf. In: Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 6, S. 140-158, München, 1982

Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 6, München, 1982

Cissé, A., Etling, W., Grafarend, E., Kahle, H.-G., Reinhart, E., Schlüter, W., Schödlbauer, A., Seeger, H.: Cooperative Effects to Establish a Fundamental Geodetic Network in the Ivory Coast Using the NNS System. Proceedings of the General Meeting of the Internationale Association of Geodesy, Tokio, 1982

Ellmer, W., Welsch, W.: Some considerations on the interpolation in series of geodetic measurements for monitoring crustal movement processes. Proceedings Fourth Canadian Symposium on Mining Surveying and Deformation Measurements, S. 465-480, Banff, 1982

Friese, A., Welsch, W.: Zum Vermessungs- und Kartenwesen von Nepal. Kartographische Nachrichten 32, S. 15-22, 1982

Geiger, A.: Development and Test of a Precise Tilt Table for Calibration Geodetic Instruments. Proceedings Fourth Canadian Symposium on Mining Surveying and Deformation Measurements, S. 151-161, Banff, 1982

Geiger, A.: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 8, München, 1982

Krack, K.: Zur direkten Berechnung der geographischen Breite aus der Meridianbogenlänge auf Rotationsellipsoiden. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 89, S. 122-126 und S. 462, 1982

Krack, K.: Rechnergestützte Ableitung der Legendreschen Reihen und Abschätzung ihrer ellipsoidischen Anteile zur Lösung der I. Geodätischen Hauptaufgabe auf Bezugsellipsoiden. Zeitschrift für Vermessungswesen 107, S. 118-125, 1982

Krack, K.: Rechnerunterstützte Entwicklung der Mittelreihenformeln und Abschätzung ihrer ellipsoidischen Anteile zur Lösung der II. Geodätischen Hauptaufgabe auf Bezugsellipsoiden. Zeitschrift für Vermessungswesen 107, S. 502-513, 1982

Schödlbauer, A.: Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 2: Geodätische Berechnungen im System der Gaußschen konformen Abbildung eines Bezugsellipsoids unter besonderer Berücksichtigung des Gauß-Krüger- und des UTM-Koordinatensystems im Bereich der Bundesrepublik Deutschland. Wichmann Skripten 2, Karlsruhe 1982

Schödlbauer, A.: Transformation Gaußscher konformer Koordinaten von einem Meridianstreifensystem in das benachbarte unter Bezugnahme auf strenge Formeln der querachsigen sphärischen Mercatorprojektion. Allgemeine Vermessung-Nachrichten 89, S. 18-29, 1982

Schwintzer, P.: Zur Generalisierung von Deformationsvektoren mit gemischten Modellen. Proceedings III. Internationales Symposium über Deformationsmessungen mit geodätischen Methoden, S. 183-194, Budapest, 1982

Schwintzer, P.: Zur Berechnung von Inversen mit minimaler Teilspur. Zeitschrift für Vermessungswesen 107, S. 514-516, 1982

Schwintzer, P., Stöckl, R.: Investitionskostenrechnungen für den Vorentwurf. In: Caspary, W., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 6, S. 114-139, Neubiberg, 1982

Welsch, W.: Description of homogeneous horizontal strains and some remarks to their analysis. Proceedings IAG Symposium on Geodetic Networks and Computations, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 258/V, S. 188-205, München, 1982

Welsch, W.: Zur Beschreibung homogenen Strains oder Einige Betrachtungen zur affinen Transformation. Zeitschrift für Vermessungswesen 107, S. 173-182, 1982

Welsch, W.: Network densification - problems and solutions. In: Borre, K., Welsch, W. (Hrsg.): Survey Control Networks. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 7, S. 401-414, München, 1982

Welsch, W.: Einige Erweiterungen der Deformationsermittlung in geodätischen Netzen durch Methoden der Strainanalyse. III. Internationales Symposium über Deformationsmessungen mit geodätischen Methoden, Proceedings Band 3, S. 99-114, Budapest, 1982

Welsch, W.: Finite Element Analysis of Strain Patterns from Geodetic Observations across a Plate Margin. IAG Symposium on Recent Crustal Movements and Phenomena Associated with Earthquakes and Volcanism, Tokyo 1981, Summary in Journal of the Geodetic Society of Japan, Special Issue, Proceedings of the General Meeting of the IAG, S. 270, Tokyo, 1982

Welsch, W., Baumer, R.: Deformation Investigation with the Help of Strain Analysis Techniques. Contribution to invited paper "Report of the FIG-Working Group on the Analysis of Deformation Measurements", III. Internationales Symposium über Deformationsmessungen mit geodätischen Methoden, Proceedings Band 3, S. 217-259, Budapest, 1982

1983

Caspary, W.: Trassierung von Hochgeschwindigkeitsbahnen. VDI-Berichte Nr. 472, S. 97-103, 1983

Caspary, W.: Inertiale Vermessungssysteme. Vermessungswesen und Raumordnung 45, S. 169 – 188, 1983

Caspary, W.: Zur Singularität von Varianz-Kovarianz-Matrizen. Zeitschrift für Vermessungswesen, S. 209-215, 1983

Caspary, W., Chen, Y. Q., König, R.: Kongruenzuntersuchungen in Deformationsnetzen durch Minimierung der Summe der Klaffungsbeträge. In: Welsch, W. (Hrsg.): Deformationsanalysen '83, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang-Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 9, S. 77-94, München, 1983

Caspary, W., Heister, H.: Problems in Precise Azimuth Determinations with Gyrotheodolites. Proceedings XVII. Internationaler FIG-Kongress, Nr. 609.2, Sofia, 1983

Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W.: Hochschule der Bundeswehr München - Institut für Geodäsie: Beitrag zum XVIII. Internationalen Kongress der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 90, S. 281-286, 1983

Cissé, A., Etling, W., Kahle, H.-G., Reinhart, E., Rösch, K., Schlüter, W., Schödlbauer, A., Seeger, H.: Establishment of a Fundamental Geodetic Network in the Ivory Coast Using the NNS System. Minutes Fifth United Nations Regional Cartografic Conference for Africa, Cairo, ECA/CART/INF/13, Kairo, 1983

Heck, B., Kok, J.J., Welsch, W.M., Baumer, R., Chrzanowski, A., Chen, Y.Q., Secord, J.M.: Report of the FIG Working Group on the Analysis of Deformation Measurements. In: Joó, J., Detreköi, A. (Hrsg.): Deformation Measurements, S. 373-416, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983

Heister, H., Caspary, W., Tille, R.: Problems in Reading the Graduation Lines on Levelling Staffs by Photoelectric Methods. In: Pelzer, H., Niemeier, W. (Hrsg.): Precise Levelling, S. 141-153, Dümmler, Bonn, 1983

Schödlbauer, A.: Einrichtung eines geodätischen Festpunktfeldes erster Ordnung in Republik Elfenbeinküste mit Hilfe des Navy Navigation Satellite Systems. Zeitschrift für Vermessungswesen 108, S. 309-313, 1983

Szacherska, M.K., Welsch, W.M.: Principal models of education of surveyors and geodesists in Europe. Proceedings XVII. International FIG Congress, 203.1, Sofia, 1983

Welsch, W.: Finite element analysis of strain patterns from geodetic observations across a plate margin. Proceedings IAG Symposium on Recent Crustal Movements and Phenomena Associated with Earthquakes and Volcanism, Tectonophysics, Special Issue, Vol. 97, S. 57-71, 1983

Welsch, W.: Einige Erweiterungen der Deformationsermittlung in geodätischen Netzen durch Methoden der Strainanalyse. In: Joó, J., Detreköi, A. (Hrsg.): Deformation Measurements, S. 83-98, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983

Welsch, W.: On the capability of finite element strain analysis as applied to deformation investigation. Proceedings XVII. International FIG Congress, 608.5, Sofia, 1983

Welsch, W. (Hrsg.): Deformationsanalysen '83, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 9, München, 1983

Welsch, W.: On some geodetic education models in Europe. Joint Symposium of IAG, ISPRS, FIG ICA, ISM, UNESCO on Education in Geodesy, Graz 1982. In: Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 42, S. 456-539, Graz, 1983

Welsch, W.: Begleitworte zum Höhenlinienplan 1 : 25 000 der Bergsturzmure vom Huascarán am 31. Mai 1970. In: Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung (Hrsg.): Die Berg- und Gletscherstürze vom Huascarán, Cordillera Blanca, Peru, Hochgebirgsforschung, Heft 6, S. 31-50, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 1983

Welsch, W., Heister, H., Baumer, R.: Geodetic monitoring of an active fault in the Peruvian Andes - The Huaytapallana Fault 1975 - 1983. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, S. 363-374, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1983

Welsch, W., Zhang, Y.: Einige Methoden zur Untersuchung kongruenter und affiner Beziehungen in geodätischen Überwachungsnetzen zur Ermittlung von Deformationen. In: Welsch, W. (Hrsg.): Deformationsanalysen '83, Schriftenreihe des Wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 9, S. 299-328, München, 1983

1984

Baumer, R., Heister, H.: Das Programmsystem NOPTI II zum Entwurf des optimalen Beobachtungsplanes geodätischer Lagenetze nach invarianten Kriterien. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 93-117, München, 1984

Bode, K.A.W., Knickmeyer, E.H.: Der Rang einer Summe positiv semidefiniter Matrizen und ein Beispiel zur Anwendung in der Geodäsie. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 5-24, München, 1984

Caspary, W.: Deformation Analysis Using a Special Similarity Transformation. Techical Papers, International FIG Eng. Survey Conference, S. 145-151, Washington, 1984

Caspary, W.: Moderne Vermessungskreisel - Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten. In: Rinner, K., Schelling, G., Brandstätter, G. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 84, Beiträge zum IX. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Band 1, A15, Dümmler, Bonn, 1984

Caspary, W.: Die Genauigkeit der Mekometermessungen auf der Prüfstrecke Neubiberg. In: Caspary, W., Heister, H. (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung, Schriftenreihe des Wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 11, S. 115-130, München, 1984

Caspary, W.: Wie verkauft man einen Bestandsplan? In: Böhme, H.-D., Klingemann, J., Lun, J.M. (Hrsg.): Der Bestandsplan als integrales Element eines Landinformationssystems, Mitteilungsblatt des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, Landesverband Bayern, Sonderheft 1, S. 179-181, 1984

Caspary, W.: Parameterschätzung in linearen Modellen mit Hilfe von Projektoren. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 25-47, München, 1984

Caspary, W., Heister, H. (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 11, München, 1984

Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie -10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, München, 1984

Cissé, A., Kahle, H.-G., Reinhart, E., Rösch, K., Schödlbauer, A., Seeger, H.: Die Erstellung eines übergeordneten Festpunktnetzes in der Republik Elfenbeinküste mit Hilfe von Dopplermessungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 91, S. 3-8, 1984

Ellmer, W.: Untersuchung und Einsatz von potentiometrischen Wegaufnehmern. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wisseschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 183-202, München, 1984

Ellmer, W.: Überwachung technischer Anlagen - Einige Probleme der Bearbeitung von Zeitreihen. In: Rinner, K., Schelling, G., Brandstätter, G. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 84, Beiträge zum IX. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Band 2, E 11, Dümmler, Bonn, 1984

Geiger, A., Kahle, H.- G., Reinhart, E., Rösch, K., Schödlbauer, A., Seeger, H.: Etablissement d'un réseau géodésique de premier ordre par mesures Doppler sur satellites en Côte d'Ivoire. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 80, S. 329-331, 1984

Glasmacher, H., Krack, K.: Umkehrung von vollständigen Potenzreihen mit zwei Veränderlichen. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang-Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 49-70, München, 1984

Heister, H.: Genauigkeitsuntersuchungen elektrooptischer Entfernungsmesser durch Gerätekalibrierung. In: Caspary, W., Heister, H. (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 11, S. 149-159, München, 1984

Heister, H., Glasmacher, H.: Satelliten-Dopplermessungen im Testnetz Inntal. In: Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Satelliten-Dopplermessungen, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, S. 307-326, München, 1984

Heister, H., Peipe, J.: Längenkalibrierung mit Hilfe der Nahbereichsphotogrammetrie. Internationales Archiv der Photogrammetrie und Fernerkundung, Vol. XXV, Port A 8a, S. 393-403, Rio de Janeiro, 1984

Karsten, A., Kock, H., Köhler, M., Lange, H., Sievers, J., Stober, M., Walter, H., Welsch, W.: Geodätische Messungen im Rahmen des Filchner-Schelfeis-Projektes 1983/84 und auf dem Ekström-Schelfeis. Berichte zur Polarforschung, Heft 19, S. 57-63, 1984

König, R.: Ein Konzept zur interaktiven Planung, Ausgleichung und Analyse geodätischer Netze. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 119-128, München, 1984

Krack, K., Schödlbauer, A.: Bivariate Polynome zur genäherten Bestimmung von UTM-Koordinaten (Europa-Datum 1950) aus Gauß-Krüger-Koordinaten (Potsdam-Datum). In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 152-164, München, 1984

Schödlbauer, A.: Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 3: Punkteinschaltungen im System der Gaußschen und der geographischen Koordinaten. Wichmann Skripten 2, Karlsruhe, 1984

Schödlbauer, A.: Strenge, nicht differentielle Lösung für den Ellipsoidübergang und die Koordinatentransformation nach Helmert im System der geographischen Koordinaten. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 165-181, München, 1984

Schödlbauer, A.: Bezugssysteme der Landesvermessung unter Berücksichtigung terrestrischer und satelliten-geodätischer Mess- und Auswerteverfahren. In: Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Satelliten-Dopplermessungen, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, S. 63-153, München, 1984

Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Satelliten-Doppler-Messungen, Beiträge zum Geodätischen Seminar, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, 392 S., München, 1984

Schwintzer, P.: Zur Bestimmung der signifikanten Parameter in Approximationsfunktionen. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge aus dem Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 71-91, München, 1984

Schwintzer, P.: Zur Generalisierung von Deformationsvektoren mit gemischten Modellen. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 12, München, 1984

Tille, R.: Einige moderne Verfahren zur Kalibrierung von Nivellierlatten. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher StudiengangVermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 221-241, München, 1984

Welsch, W.: Invarianzeigenschaften von Strainparametern. In: Caspary, W., Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg.): Beiträge des Instituts für Geodäsie - 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 10, S. 129-150, München, 1984

Welsch, W.: Die geodätische Bearbeitung von Deformationsvorgängen. Festschrift Wilhelm Embacher, Mitteilungen des Instituts für Geodäsie der Universität Innsbruck, Heft 7, S. 189-203, Innsbruck, 1984

Welsch, W.: Einige geodätische Beiträge zur Polarforschung. Hochschulkurier, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 5, S. 4-7, 1984

Welsch, W.: Grundlagen, Gebrauchsformeln und Anwendungsbeispiele der Schätzung von Varianz- und Kovarianzkomponenten. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 82, S. 296-301, 1984

Welsch, W.: Bergstürze durch Erdbeben. Geowissenschaften in unserer Zeit 6, S. 291-207, 1984

Welsch, W., Oswald, W.: Zur Nutzbarmachung der Varianz-Komponenten-Schätzung für praktische Vermessungsaufgaben. In: Rinner, K., Schelling, G., Brandstätter, G. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 84, Beiträge zum IX. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Beitrag B 3, S. 1-9, Dümmler, Bonn, 1984

Welsch, W., Oswald, W.: Kombinierte Ausgleichung von Doppler-Satellitennetzen und terrestrischen Netzen. In: Schödlbauer, A., Welsch, W. (Hrsg): Satelliten-Dopplermessungen, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 15, S. 155-191, München, 1984

Welsch, W., Zhang, Y.: Kongruenz und Affinität von geodätischen Netzen und Teilnetzen. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping (WTUSM) 1, S. 1-21 (chinesisch), Sonderheft 1, S. 1-46 (deutsch), 1984

1985

Borutta, H.: Discrete Dynamic Optimization of Relative GPS Positioning. Proceedings 7th International Symposium on Geodetic Computations, Krakau, 1985

Borutta, H., Heister, H.: Optimal Design for GPS 3D Differential Positioning. In: Welsch, W., Lapine L.A. (Hrsg.): Proceedings Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studienganr Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20, S. 257-276, München, 1985

Caspary, W.: Inertial Positioning - Principles and Procedures. In: Welsch, W., Lapine L.A. (Hrsg): Proceedings Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20, S. 11-20, München, 1985

Caspary, W., Borutta, H., König, R.: Network Densification by Inertial Positioning. In: Proceedings 7th International Symposium on Geodetic Computations, S. 477-494, Krakau, 1985

Caspary, W., Borutta, H.: Robust Estimation as Applied to Deformation Analysis. Proceedings 4th International Symposium on Geodetic Measurements of Deformations, S. 283-294, Katowice, 1985

Caspary, W., König, R.: Comparative Study of the Ferranti, Honeywell and Litton Inertial Surveying Systems. In: Proceedings III. International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy, Banff, S. 16-20, 1985

Chrzanowski, A., Welsch, W.: Review of the Huaytapallana Project, Peru. Proceedings International Symposium on Recent Crustal Movements in Central and South America, Maracaibo, 1985

Heister, H., Schödlbauer, A., Welsch, W.: Macrometer Measurements 1984 in the Inn Valley Network. Proceedings First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Rockville, Maryland, S.567-578, Rockville, 1985

Lechner, W.: Azimuth Determination with Inertial Measuring Systems - Procedure, Results, Application. In: Proceedings II. International Symposium on Inertial Technology for Surveying and Geodesy, S. 483-494, Banff, 1985

Lechner, W.: Azimuth Determination with Inertial Systems. In: In: Welsch, W., Lapine L.A. (Hrsg.): Proceedings Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20-1, S. 35-50, München, 1985

Schödlbauer, A.: Transformation räumlicher ellipsoidischer Koordinaten in cartesische topozentrische Koordinaten auf der Grundlage der "Entwicklungen von Weingarten". In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Gerhard Eichhorn, S. 241-257, Darmstadt, 1985

Schödlbauer, A.: Local Reference Systems in Geodetic Survey under Consideration of Terrestrial and Satellite Positioning Methods. In: Proceedings First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, S. 713-721, Rockville, 1985

Schödlbauer, A.: Inertial Survey Platforms and the Geodetic Relevant Coordinate Systems.In: Welsch, W., Lapine L.A. (Hrsg.): Proceedings Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20-1, S. 89-112, München, 1985

Schödlbauer, A.: Geodätisch nutzbare Trägheitsplattformen und die gegenseitigen Beziehungen der ihnen zugeordneten Koordinatensysteme. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 92, S. 510-524, 1985

Szacherska, M.K., Welsch, W.M.: Geodetic Education in Europe. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Hochschule der Bundeswehr München, Heft 16, München, 1985

Welsch, W.: Some aspects of the analysis of geodetic observations in kinematic models. Proceedings of the International Symposium on Recent Crustal Movements in Central and South America, Maracaibo, 1985

Welsch, W.: Kinematische Netzbetrachtung. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, S. 751-780, Wittwer, Stuttgart, 1985

Welsch, W.: Das Verfahren der Deformationsanalyse durch Untersuchung der Kongruenz und Affinität geodätischer Netze. 4th International Symposium on Geodetic Measurements of Deformations, proceedings, S. 359-370, Katowice, 1985

Welsch, W., Lapine L.A. (Hrsg.): Proceedings Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 20, 2 Bände, Neubiberg, 1985

Welsch, W., Oswald, W.: Variance analysis of satellite networks. Proceedings First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, S. 567-578, Rockville, 1985

Welsch, W., Oswald, W.: Accuracies in combined terrestrial and satellite networks. In: Proceedings 7th International Symposium on Geodetic Computations, S. 125-137, Krakau, 1985

1986

Borutta, H., Eißfeller, B., König. R., Landau, H., Lechner, W.: Testnetze zur Untersuchung von fahrzeuggebundenen Messsystemen zur Positionsbestimmung in Geodäsie und Navigation. Ortung und Navigation 27, S. 440-450, 1986

Borutta, H., Peipe, J.: Deformation Analysis of Three-Dimensional Photogrammetric Point Fields. In: Proceedings ISPRS-Symposium Commission V, S. 165-175, Ottawa, 1986

Caspary, W.: Grundlagen und Anwendungen von Inertialsystemen. Ortsbestimmung und Positionierung. Beiträge zum 2. Hydrographie-Symposium, S. 58-78, Hamburg, 1986

Caspary, W., Borutta, H.: Geometrische Deformationsanalyse mit robusten Schätzverfahren. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 93, S. 315-326, 1986

Caspary, W., Heister, H.: A New Concept for the Automation of Geodetic Leveling. In: Proceedings XVIII. FIG Congress, P 501.1, Toronto, 1986

Caspary, W., Heister, H., Kurz, B.: Ein Beitrag zur Automatisierung des geometrischen Nivellements. Zeitschrift für Vermessungswesen 111, S. 361-366, 1986

Caspary, W., König, R.: Zur Positionsbestimmung mit inertialen Vermessungssystemen. Vermessungswesen und Raumordnung 48, S. 282-294, 1986

Caspary, W., König. R.: Comparative Study of the Ferranti, Honeywell and Litton Inertial Surveying System. Testnetz Ebersberger Forst. Bulletin Géodésique 60, S. 143-153, 1986

Chrzanowski, A., Welsch, W.: Review of the Huaytapallana Project, Peru. Tectonophysics 130, S. 23-31, 1986

Cvorovic, M., Kersting, N., Ninkov, T., Welsch, W.: Ein Weg der Stabilpunktidentifikation durch Untersuchung datumsinvarianter Vergleichselemente, gezeigt an einem Testnetz in Titograd. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 93, S. 327-338, 1986

Heister, H., Schödlbauer, A., Welsch, W.: Macrometer Measurements 1984/85 in the Inn Valley Network. In: Proceedings XVIII. International FIG Congress, Toronto, Vol. 10, S. 347-361, Toronto, 1986

Kersting, N., Welsch, W.: Kinematic Models for Analyzing Recent Vertical Crustal Movements and Their Comparison in Application to the Test Network Pfungstadt. In: Pelzer, H., Niemeier, W. (Hrsg.): Height Determination and Recent Crustal Movements in Western Europe, S. 619-631, Stuttgart, 1986

König, R.: Inertial Surveying Systems for Geodetic Point Positioning Procedures and Tests. In: Sorg, H. (Hrsg.): Proceedings Symposium Gyro Technology, S. 1.0-1.15, Stuttgart, 1986

Krack, K., Schödlbauer, A.: Freie Ausgleichung des KONMAC-Netzes. In: Schmidt, R. (Zusammenstellung), Gemeinschaftsarbeit Kontrolle des Deutschen Hauptdreiecknetzes durch Macrometer-Messungen, 1983 - 1985 - KONMAC, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 282, S. 18-20, München, 1986

Lechner, W.: Koordinatenübertragung mit Koppelnavigationssystemen auf einem Bezugsellipsoid. Ortung und Navigation 27, S. 58-75, 1986

Lechner, W., Griehl, S.: Possibilities to increase Efficiency of Dead Reckoning System Using Post Processing Techniques by Example of the Vehicle Navigation System FNA 615. In: Sorg, H. (Hrsg.): Proceedings Symposium Gyro Technology 1986, S. 20-25, Stuttgart, 1986

Perelmuter, A., Welsch, W.: Zur Berechnung der Einheitsvarianz in Modellen zur Analyse von Netz deformationen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 93, S. 338-341, 1986

Schödlbauer, A: NNSS Transit, GPS Navstar and Inertial Technology for National Geodetic Surveys. Proceedings Sixth United Nations Regional Cartographic Conference for Africa, E/ECA/NRD CART/82, Addis Abeba, 1986

Schödlbauer, A.: Geodetic Height Systems in the Wake of Advancing Technology. Proceedings Third Symposium on Satellite Proceedings, Austen, Texas, 1986

Schödlbauer, A.: Geodetic Height Systems in the Wake of Advancing Technology. Proceedings Third Symposium on Geodesy in Africa, Yamoussoukro, 1986

Schödlbauer, A., Krack, K., Güntsch, H.: Trigonometrisches Nivellement auf der Grundlage bündelweiser Messung von Zenitdistanzen und Strecken. In: Proceedings XVIII. International FIG Congress, Toronto, 1986

Szacherska, M.K., Welsch, W.M.: Geodetic Education in Europe. Proceedings Consiglio Nationale Geometri, Istruzione Geodetica in Europea, Roma, 1986 (italienisch)

Welsch, W.: Some Aspects of the Analysis of Geodetic Strain Observations in Kinematic Models. Tectonophysics 130, S. 437-458, 1986

Welsch, W.: Problems of Accuracies in Combined Terrestrial and Satellite Control Networks. In: Proceedings IVth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning 1, S. 181-196, Austin, 1986

Welsch, W.: Problems of Accuracies in Combined Terrestrial and Satellite Control Networks. Bulletin Géodésique 60, S. 193-203, 1986

Welsch, W.: The Use of GPS Observations for Engineering Type Networks. In: Proceedings Academic Symposium on the Occasion of the 30th Anniversary of the Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, S. 74-81, Wuhan, 1986

Welsch, W., Oswald, W.: The Hybrid Adjustment of Terrestrial and Satellite Aided Network Observations. In: Proceedings XVIII. International FIG Congress 5, 503.1, Toronto, 1986

Welsch, W., Oswald, W.: Stochastic Aspects of Combining Terrestrial and Satellite Aided Point Positioning with Emphasis on Height Determination. In: Pelzer, H., Niemeier, W. (Hrsg.). Height Determination and Recent Crustal Movements in Western Europe, S. 361-371, Stuttgart, 1986

1987

Alpar, G., Leick, A., Lugnani, J.B., Rais, J., Welsch, W., White, L., Leadership: Krakiwsky, E. J.: A Catalogue of Undergraduate Programmes in Surveying and Mapping in the World. Monograph submitted by IAG Commission IX (Education in Geodesy) to the XIX. IUGG General Assembly, Vancouver, 1987

Breunig, R.: Determination of Control Points by Using Satellite Doppler Measurements for the Rectification of Landsat Images of thr Bir Tarfawi Region in Egypt. In: Pöhlmann G. (Hrsg.): Western Desert Base Maps 1:100000. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 5, S.23-28, Dieter Reimer Verlag, Berlin, 1987

Caspary, W.: Gyroscope Technology, Status and Trends. In: Turner, S. (Hrsg.): Applied Geodesy, Lecture Notes in Earth Science 12, S. 163-179, Springer, Berlin, 1987

Caspary, W.: Inertialplattformen: Messprinzip und geodätische Nutzung. In: Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, S. 7-22, München, 1987

Caspary, W.: Deformationsmessungen. In: Pelzer H. (Hrsg.): Ingenieurvermessung, Vermessungswesen bei Konrad Wittwer, Band 15, Stuttgart, 1987

Caspary, W.: Concepts of Network and Deformation Analysis. Monograph 11, School of Surveying, The University of New South Wales, Kensington, 1987

Caspary, W., Borutta, H.: Robust Estimation in Deformation Models. Survey Review 29, S. 29-45, 1987

Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, München, 1987

Ellmer, W.: Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 26, München, 1987

Ellmer, W., Hinze, H., Seeber, G., Welsch, W.: Transit-Dopplermessungen 1984 zur Geschwindigkeitsmessung des Filchner-Schelfeises. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 94, S. 399-410, 1987

Ellmer, W., Welsch, W.: Ein Großturbinentisch als dynamisches System. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 94, S. 317-326, 1987

Glasmacher, H.: Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 29, S. 121, München, 1987

Kersting, N.: Optimale Konfiguration beim Vorwärtseinschneiden mit Industriemesssystemen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 94, S. 169-178, 1987

Kersting, N., Welsch, W.: Kinematische Modelle zur Analyse rezenter Krustenbewegungen und ihre Anwendung auf die Daten des Testnetzes Pfungstadt. Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 283, S. 135-166, München, 1987

König, R.: Inertialvermessung im Testnetz Ebersberger Forst. In: Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, S. 317-330, München, 1987

Lechner, W.: Ausrichtung und Steuerung von Inertialplattformen. In: Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlihcer Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, S. 45-68, München, 1987

Lechner, W.: Azimutbestimmung mit Inertialsystemen. In: Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie, Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, S. 237-269, München, 1987

Lechner, W., Sudau, A., Wanzke, H.: Motorisiertes Nivellement mit elektronischen Drucksensoren. Zeitschrift für Vermessungswesen 187, S. 385-396, 1987

Pelzer, H., Backhausen, D., Caspary, W.: Deformationsmessungen. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Ingenieurvermessung, S. 37-192, Vermessungswesen, Band 15, Wittwer, Stuttgart, 1987

Schödlbauer, A.: Geodätische Positionsbestimmung mit Inertialsystemen auf Bezugsellipsoiden. In: Caspary, W., Hein, G., Schödlbauer, A. (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 22, S. 69-138, München, 1987

Schödlbauer, A., Krack, K., Glasmacher, H.: Vergleichsmessungen im Global Positioning System mit verschiedenen Empfängertypen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 94, S. 340-345, 1987

Seeber, G., Schödlbauer, A., Glasmacher, H., Krack, K.: Status Report on the German-Austrian NAVSTAR Campaign (DÖNAV). In: Proceedings XIX. IUGG General Assembly - Interdisciplinary Symposium: Impact of GPS on Geophysics, U3-24, Vancouver, 1987

Seeber, G., Schödlbauer, A., Glasmacher, H., Krack, K. u.a.: The GINFEST GPS Campaign (1986). In: Proceedings XIX. IUGG General Assembly - Interdisciplinary Symposium: Impact of GPS on Geophysics, U3-27, Vancouver, 1987

Welsch, W.: Satellitentechniken zur Punktbestimmung in der Geodäsie. Geographische Rundschau 39, S. 214-220, 1987

Welsch, W.: Accuracy Problems when Combining Terrestrial and Satellite Observations. In: Turner, St. (Hrsg.): Applied Geodesy, Lecture Notes in Earth Sciences, S. 47-65, Springer, Berlin - Tokio, 1987

Welsch, W.: Geschwindigkeits- und Strainformationen aus Dopplerbeobachtungen von Einzelpunkten auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis. Geodätische Schriftenreihe der Technischen Universität Braunschweiz, Nr. 7, S. 67-76, Braunschweig, 1987

Welsch, W., Oswald, W.: Genauigkeitsuntersuchungen bei der hybriden Ausgleichung terrestrischer und satellitengestützter Netzbeobachtungen. Zeitschrift für Vermessungswesen 112, S. 30-41, 1987

Zhang, Y.: Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze. Schriftenreihe Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 30, München, 1987

1988

Borutta, H.: Robuste Schätzverfahren für geodätische Anwendungen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 33, Neubiberg, 1988

Caspary, W.: Fehlerverteilungen, Methode der kleinsten Quadrate und robuste Alternativen. Zeitschrift für Vermessungswesen 113, S.123-133, 1988

Caspary, W.: Zur Automatisierung des Nivellements. Zeitschrift für Vermessungswesen 113, S. 437-444, 1988

Caspary, W., Heister, H.: Ein automatisiertes Nivelliersystem. Ingenieurvermessung 88, Band 1, A 1, Dümmler, Bonn, 1988

Caspary, W., Heister, H.: A New Concept Towards Automation of Differential Leveling. Technical Papers ACSM-ASPRS, S. 173-178, St. Louis, 1988

Caspary, W., Heister, H.: Zur Stricherfassung bei der automatischen Kalibrierung von Längenmaßen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 95, S. 189-199, 1988

Heister, H.: Zur Fehlausrichtung von Tripelprismen. Zeitschrift für Vermessungswesen 113, S. 249-253, 1988

Heister, H.: Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längemmessinstrumente. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 27, Neubiberg, 1988

Heister, H., Lechner, W.: Einsatz von automatisierten Meridiankreiseln zur absoluten Orientierung von Drehtischen. BDVI-Forum, 2/88, S. 338-342, 1988

Kersting, N., Perelmuter, A., Welsch, W.: Ein- und mehrstufige Modelle der Deformations- und Strainanalyse. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 93, S. 300-310, 1988

König, R.: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 32, Neubiberg, 1988

Lechner, W.: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 31, Neubiberg, 1988

Schödlbauer, A., Heister, H., Lechner, W., Schmechtig, O.: Comparative Trials on Automated North-Seeking Gyros. In: Proceedings Symposium Gyro Technology 1988, S. 11.0-11.21, Stuttgart, 1988

Schödlbauer, A., Krack, K., Glasmacher, H.: GPS Trials with Different Receiver Types in the Inn Valley Network. In: Proceedings XIX. IUGG General Assembly - Interdisciplinary Symposium: Impact of GPS on Geophysics, U3-23, Vancouver, 1987

Schödlbauer, A., Krack, K., Glasmacher, H.: Verdichtung des amtlichen bayerischen trigonometrischen Festpunktfeldes mit Hilfe des Global Positioning System (GPS). Mitteilungsblatt des DVW Landesvereins Bayern 40, S. 301-317, München, 1988

Schödlbauer, A., Lechner, W.: Application of Inertial and Satellite Based Navigation Techniques for Geodetic Surveying. In: Proceedings Congress of the International Association of Institutes of Navigation: Navigation Developments and Techniques in the 21st Century, S. 354-360, Sydney, 1988

Schödlbauer, A., Lechner, W.: Grundzüge der Nutzung von inertialen und satellitengestützten Navigationssystemen im Vermessungswesen. Ortung und Navigation 29, S. 64-74, 1988

Welsch, W.: Vergleichende Auswertung und Beurteilung von GPS-Beobachtungen in lokalen Netzen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 86, S. 382-389, 1988

1989

Caspary, W.: A Robust Approach to Estimating Deformation Parameters. In: Proceedings 5th International FIG Symposium on Deformation Measurements, S. 124-135, Fredericton, 1989

Caspary, W.: Adjustment Models for Inertial Positioning. In: Proceedings of the 1st International Symposium on Inertial Technology in Beijing, S. 147-153, Peking, 1989

Caspary, W., Heister, H.: A Partially Automated Microprocessor-Controlled Leveling System. Surveying and Mapping 49, S. 73-76, 1989

Hahn, M., Heck, B., Jäger, R., Scheuring, R.: Ein Verfahren zur Abstimmung der Signifikanzniveaus für allgemeine m,n(F)-verteilte Teststatistiken - Teil 1: Theorie. Zeitschrift für Vermessungswesen 114, S. 234-248, 1989

Kersting, N.: Herdflächenlösungen aus geodätischen Beobachtungen. In: Kersting, N., Welsch, W. (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, S. 213-230, Neubiberg, 1989

Kersting, N.: Effects of Collapsed Excavations on Ground Subsidence in Greater Distances. Proceedings 5th International FIG Symposium on Deformation Measurements, S. 240-249, Fredericton, 1989

Kersting, N., Welsch, W. (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, Neubiberg, 1989

Schlemmer, H., Welsch, W.: Berührungslose geodätische Messsysteme für die Industrievermessung - ein Überblick. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 96, S. 397-411, 1989

Schödlbauer, A., Glasmacher, H., Krack, K.: Online GPS Translocation at Submeter Accuracy. In: Proceedings 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, S. 653-659, Las Cruces, 1989

Schödlbauer, A., Krack, K., Glasmacher, H.: Densification of Horizontal Networks by GPS. In: Proceedings 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, S. 1090-1103, Las Cruces, 1989

Welsch, W.: Three Examples of New High-tech Developments in Geodetic and Photogrammetric Metrology. In: Proceedings of the Ninth Conference of Southern African Surveyors (CONSAS 89), 2, 12.1, Cape Town, 1989

Welsch, W.: Strainanalyse aus geodätischen Beobachtungen. In: Kersting, N., Welsch, W. (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, S. 171-189, Neubiberg, 1989

Welsch, W.: Zur Optimierung geodätischer Netze für die Überwachung rezenter Verwerfungen. In: Kersting, N., Welsch, W. (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 39, S. 191-212, Neubiberg, 1989

1990

Beckers, H., Krack, K., Widmann, R.: Erprobung des Trigonometrischen Nivellements auf der Grundlage bündelweiser Messungen von Zenitdistanzen und Strecken, insbesondere auf der Nivellement-Testschleife Koblenz. Nachrichtenblatt der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz 33, S. 213-226, 1990

Caspary, W.: Gegenwärtiger Leistungsstand der Inertialtechnologie für geodätische Anwendungen. In: Proceedings XIX. International FIG Congress, Commission 5, S. 374-382, Helsinki, 1990

Caspary, W., Haen, W.: Simultaneous Estimation of Location and Scale Parameters in the Context of Robust M-Estimation. manuscripta geodaetica 15, S. 273-282, 1990

Caspary, W., Haen, W., Borutta, H.: Deformation Analysis by Statistical Methods. Technometrics 32, S. 49-57, 1990

Caspary, W., Haen, W., Platz, V.: The Distribution of Length and Direction of Two-Dimensional Random Vectors. In: Vyskocil, P., Reigber, C., Cross, P.A. (Hrsg.): Global and Regional Geodynamics, S. 232-240, New York, 1990

Caspary, W., Heister, H., Gros, F.-J.: Experiences with a Computer-Controlled Laser Alignment System for Deformation Surveillance. In: Proceedings International Symposium Data Acquisition for the Investigation of Deformations, S. 20-27, Katowice, 1990

Caspary, W., Scheuring, R.: Aufbau eines Kommunalen Informationssystems - Praktische und theoretische Aspekte. In: Proceedings International FIG Symposium Modern Geodetic Measurements and Digital Techniques, Band 2, S. 519-527, Budapest, 1990

Daellenbach, K. K., Welsch, W.: Determination of Surface Velocities, Strain and Mass Flow Rates on the Taku Glacier, Juneau Icefield, Alaska.Gletscherkunde und Glazialogie 26, S. 169-177, 1990

Erhardt, H., Hinze, H., Oswald, W., Schenke, H.W., Timmen, L.: Satellitengestützte Positionsbestimmungen zur Ermittlung der Eisbewegung. Berichte zur Polarforschung 57: Die Expedition ANTARKTIS-V mit FS "Polarstern" 1986/87, S. 82-87, Bremen, 1990

Glasmacher, H., Krack, K., Schödlbauer, A.: Schnelle Positionsbestimmung auf der Grundlage simultaner Messung von Pseudoentfernungen im Global Positioning System. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-1, S. 185-220, Neubiberg, 1990

Gros, F.-J.: Landesvermessung und Kataster in Nassau. Die historische Entwicklung der Geodäsie von den Anfängen bis zur Nachkriegszeit. Wäller Heimat - Jahrbuch des Westerwaldkreises 3, S. 77-85, 1990

Heister, H., Peipe, J.: Zur Interaktion geodätischer und photogrammetrischer Messtechnik bei der 3D-Erfassung industrieller Objekte. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 97, S. 224-240, 1990

Heister, H., Schödlbauer, A.: Comparison of Automated Gyrotheodolites. In: Proceedings XIX. International FIG Congress, S. 220-228, Helsinki, 1990

Heister, H., Lechner, W., Schödlbauer, A.: Zur Genauigkeit und Kalibrierwertstabilität automatisierter Vermessungskreisel. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-2, S. 501-528, Neubiberg, 1990

Hinze, K., Karsten, A., Lindner, K., Oswald, W., Ritter, B., Timmen, L.: Strainbestimmungen auf dem Ekström-Schelfeis. Berichte zur Polarforschung 57: Die Expedition ANTARKTIS-V mit FS "Polarstern" 1986/87, S. 88-92, Bremen, 1990

Hollmann, R., Oswald, W., Welsch, W.: Processing of GPS Phase Observations in Every Day Life: How Much Can Various Network Solutions Differ and how Can They be Compared? manuscripta geodaetica 15, S. 124-136, 1990

Hollmann, R., Welsch, W.: Some Considerations about Observation Plans for Local GPS Networks. In: Proceedings 8th International Symposium on Geodetic Computations at the Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Wuhan, 1990

Hollmann, R., Welsch, W.: Vergleichende Untersuchungen der Auswirkung von troposphärischen Korrektionen auf die Höhenbestimmung mit GPS-Phasenmessungen. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-1, S. 245-272, Neubiberg, 1990

Kersting, N., Welsch, W.: Krustenbewegungsanalysen im bayerischen Anteil des Deutschen Haupthöhennetzes durch kinematische Modellansätze. In: Mälzer, H. (Hrsg.): DGK-Arbeitskreis für Rezente Krustenbewegungen: Berechnung von Höhenänderungen im Bayerischen Haupthöhennetz unter Verwendung unterschiedlicher Modelle, Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, B 293, S. 81-86, München, 1990

Krack, K., Schödlbauer, A., Widmann, R.: Entwicklung eines automatisierten Messsystems zum trigonometrischen Nivellement (Sprungstand-Verfahren mit bündelweiser Messung von Zenitwinkeln und Strecken). Vermessungstechnik und Raumordnung 52, S. 96-104, 1990

Krack, K., Schödlbauer, A., Widmann, R.: Automatisiertes trigonometrisches Nivellement durch bündelweise Beobachtung von Zenitdistanzen und Schrägstrecken. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-2, S. 397-440, Neubiberg, 1990

Oswald, W., Welsch, W.: Zum Problem der Gewichtung von GPS-Beobachtungen für die Verdichtung hierarchischer Netze. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-1, S. 223-236, Neubiberg, 1990

Rentsch, H., Welsch, W., Heipke, Chr., Miller, M.M.: Digital Terrain Models as a Tool for Glacier Studies. Journal of Glaciology 36, S. 273-278, 1990

Schödlbauer, A.: Einsatz des Global Positioning System zur Verdichtung des amtlichen trigonometrischen Festpunktfeldes. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-1, S. 67-85, Neubiberg, 1990

Schödlbauer, A.: Das Höhenproblem an der Schnittstelle zwischen photogrammetrischen und anderen Höhenmessverfahren. In: Brunner, K., Ebner, H. (Hrsg.): Festschrift für Rüdiger Finsterwalder zum 60. Geburtstag, Institut für Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität München, S. 199-225, München, 1990

Schödlbauer, A.: Höhensysteme der Landesvermessung im Lichte moderner Messverfahren. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-2, S. 359-395, Neubiberg, 1990

Schödlbauer, A.: Funktionsprinzipien automatisierter Vermessungskreisel. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-2, S. 443-469, Neubiberg, 1990

Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Schriftenreihe Studiengang-Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Hefte 38-1 (Global Positioning System) und 38-2 (Nivellement, Vermessungskreisel), Neubiberg, 1990

Welsch, W.: Is the Education in Surveying Engineering Still Adequate with Respect to the Stormy Development in Technology? In: Proceedings XIX. International FIG Congress, Band 2, S. 83-89, Helsinki, 1990

Welsch, W.: The Increasing Need for International Standards in Surveying and Mapping Education. In: Krakiwsky, E.J. (Hrsg.): XIII. North American Surveying and Mapping Teachers Conference, University of Calgary, Department of Surveying Engineering, UCSE Report No. 60008, S. 30-32 und 51, Calgary, 1990

Welsch, W.: Workshop on Precise Vertical Positioning, 08.-12.10.1990, Hannover. Syposiumsbericht, Zeitschrift für Vermessungswesen 115, Heft 12, S. 543-544, 1990

1991

Caspary, W.: Entwicklungstendenzen im Vermessungswesen - Instrumente,Systeme, Methoden. XIX. International FIG Congress, Offizieller Konferenzbericht, Band O, S. 88-92, Helsinki, 1991

Caspary, W., Scheuring, R.: Die Bestimmung der Schwingungsmittellage bei Vermessungskreiseln. In: Schödlbauer, A. (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 38-2, S. 471-500, Neubiberg, 1991

Hahn, M., Heck, B., Jäger, R., Scheuring, R.: Ein Verfahren zur Abstimmung des Signifikanzniveaus für allgemeine Fm,n-verteilte Teststatistiken. Teil II: Anwendungen. Zeitschrift für Vermessungswesen 116, S. 15-26, 1991

Heister, H.: National Report of the Federal Republic of Gemany on the Geodetic Activities in the Years 1987-1991, Deutsche Geodätische Kommission, B 293, S. 28, München, 1991

Heister, H.: Automatisierte Kreiseltheodolite, Proceedings VIII. Congress International Society for Mine Surveying, S. 501, Lexington, 1991

Heister, H., Krack, K., Schödlbauer, A.: GPS 3D point positioning: the height problem, different approaches and numerical results. South African Journal of Surveying and Mapping 21, S. 129-133, 1991

Schlemmer, H., Welsch, W.: Dimensionelles Messen mit berührungslosen geodätischen Messsystemen. Fertigungstechnik und Betrieb 41, S. 456-461, 1991

Welsch, W.: Geodätische Ausbildung international - Konzepte und Standardisierung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 98, S. 363-366, 1991

Welsch, W., Witte, B.: Education in Geodesy. In: National Report of the Federal Republic of Germany on the Geodetic Activities in the Years 1987 - 1991, Deutsche Geodätische Kommission, B 294, S. 173-174, München, 1991

1992

Baltzer, U., Caspary, W.: Datenqualität in Geoinformationssystemen. In: Günther, Schulz, Seggelke (Hrsg.): Umweltanwendungen geographischer Informationssysteme, S. 294-300, Wichmann, Karlsruhe, 1992

Caspary, W.: Qualitätsmerkmale von Geo-Daten. Zeitschrift für Vermessungswesen 117, S. 360-367, 1992

Caspary, W.: Genauigkeit als Qualitätsmerkmal digitaler Datenbestände. In: Grünreich, D., G. Buzick (Hrsg.): Gewinnung von Basisdaten für Geo-Informationssysteme, Schriftenreihe DVW, Heft 4, S. 157-166, 1992

Caspary, W., Haen, W., Klemm, J.: Robuste Schätzung in Systemmodellen. In: Matthias, H. J., Grün, A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 92, I, 4/1-10, Dümmler, Bonn, 1992

Caspary, W., Scheuring, R.: Error-Bands as Measures of Geometrical Accuracy. In: EGIS '92, Band 1, S. 226-233, Utrecht, 1992

Heister, H.: Zur Anordnung von Kreiselmessungen unter besonderer Berücksichtigung von systematischen Fehlereinflüssen. In: Matthias, H. J., Grün, A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 92, I 7/1-14, Dümmler, Bonn, 1992

Hollmann, R., Welsch, W.: A high precision dam monitoring network observed with GPS or Can GPS replace terrestrial measurements for high precision engineering networks? In: Proceedings Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, S. 811-821, Columbus, 1992

Hollmann, R., Welsch, W.: Präzision von Netzbeobachtungen mit Satellitenverfahren, gezeigt an einem Staumauer-Überwachungsnetz. In: Matthias, H. J., Grün, A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 92, II, 13/1-10, Dümmler, Bonn, 1992

Kersting, N.: Zur Analyse rezenter Krustenbewegungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen. Schriftenreihe Studiengange Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 42, Neubiberg, 1992

Lang, M., Welsch, W.: Optische Industrievermessung mit Schwerpunkt auf geodätischen und photogrammetrischen Messverfahren - eine Bibliographie. In: Welsch, W., Schlemmer, H., Lang, M. (Hrsg.): Geodätische Messverfahren im Maschinenbau, Schriftenreihe DVW, Band 1, S. 221-253, Wittwer, Stuttgart, 1992

Oswald, W.: Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 44, Neubiberg, 1992

Oswald, W., Welsch, W.: Algorithmic considerations about the combination of terrestrial and satellite aided height determination. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Precise Vertical Positioning, Dümmler, Bonn, 1992

Schödlbauer, A., Heister, H., Krack, K.: Geodätische Nutzung des Global Positioning Systems beim Bau eines Eisenbahn-Tunnels unter dem Großen Belt (Dänemark). SPN - Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation 1, S. 50-54, 1992

Schödlbauer, A., Heister, H., Krack, K., Scherer, B.: Höhenübertragung über den Großen Belt (östlicher Kanal) unter Nutzung des Global Positioning System (GPS) in Verbindung mit lokalen Nivellements, Messungen von Zenitdistanzen und astronomischen Azimut- und Breitenbestimmungen (GPS-Nivellement). In: Matthias, H. J., Grün, A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 92, IV, 1/1-14, Dümmler, Bonn, 1992

Schödlbauer, A., Krack, K., Scherer, B., Widmann, R., Beckers, H.: GPS Leveling in High Precision Engineering Surveys. In: Proceedings Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, S. 893-904, Columbus, 1992

Welsch, W.: Teaching of Geodetic Sciences at Universities, Report on a Workshop held in Stuttgart, Germany, on November 15-16, 1990. Bulletin Géodésique 66, S. 62-63, 1992

Welsch, W.: 6th International FIG-Symposium on Deformation Measurements, Hannover. Symposiumsbericht, Zeitschrift für Vermessungswesen 117, Heft 5, S. 295-296, 1992

Welsch, W., Schlemmer, H., Lang, M. (Hrsg.): Geodätische Messverfahren im Maschinenbau. Schriftenreihe DVW, Band 1, Wittwer, Stuttgart, 1992

1993

Brunner, F. K., Welsch, W.: Effects of the Troposphere on GPS Measurements. GPS World 4, S. 42-51, 1993

Caspary, W.: Qualitätsaspekte bei Geoinformationssystem. Zeitschrift für Vermessungswesen 118, S. 444-450, 1993

Caspary, W., Heister, H., Sutor, T.: An Alignment System Based on Diffraction. Proceedings of Seventh International FIG Symposium of Deformation Measurements together with Sixth Canadian Symposium on Mining Surveying, S. 187-192, Banff, 1993

Caspary, W., Scheuring, R.: Positional Accuracy in Spatial Databases. Comput. Environ. and Urban Systems 17, S. 103-110, 1993

Heister, H.: Einführung in die Positionsbestimmung mit dem Global Positioning System (GPS). In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 9-27, Neubiberg, 1993

Heister, H.: Erfahrungen mit einem automatisierten Laser-Alignement zur symmetrischen Abtastung mehrerer Messstellen. Vermessungswesen und Raumordnung 55, S. 300-307, 1993

Hollmann, R.: Überlegungen zur Anlage und Auswertung kleinräumiger Ingenieurnetze. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 107-138, Neubiberg, 1993

Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, Neubiberg, 1993

Krack, K.: Einrichtung eines Grundlagennetzes mit Hilfe des GPS in Ruanda. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 139-157, Neubiberg, 1993

Krack, K., Scherer, B.: Praktische Erfahrungen mit der schnellen Ambiguity-Lösung im GPS-Auswerteprogramm SKI. SPN 2, S. 49-54, 1993

Milev, G., Pfeufer, A., Proszynski, W., Steinberg, G., Teskey, W.F., Welsch, W.: Report of the Ad Hoc-Committee on Classification of Deformation Models and Terminology. Proceedings Seventh International FIG-Symposium on Deformation Measurements, S. 66-76, Banff. In deutscher Sprache unter dem Titel "Analyse und Interpretation von Überwachungsmessungen - Terminologie und Klassifikation" veröffentlicht in: Zeitschrift für Vermessungswesen 118, S. 470-476, 1993

Rüeger, J.M., Caspary, W.F., Heister, H.: Testing a small inertial navigation system for surveying applications. Bulletin Géodésique 67, S. 23-30, 1993

Scherer, B.: Die Behandlung von GPS-Netzen als freie Netze und ihre Einpassung in hierarchisch aufgebaute, nicht homogene Netzstrukturen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 203-227, Neubiberg, 1993

Schödlbauer, A.: Bezugssysteme und Koordinatentransformationen für geodätische Arbeiten mit dem Global Positioning System. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 161-184, Neubiberg, 1993

Schödlbauer, A.: Höhenbestimmung mit dem Global Positioning System. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 231-263, Neubiberg, 1993

Schödlbauer, A., Glasmacher, H., Heister, H., Krack, K., Scherer, B.: Height Transfer Across the Storebælt (Eastern Channel) Using Geometric Levelling, Trigonometric Heighting and Astronomic Methods in Combination with GPS (GPS Levelling). In: Linkwitz, K., Eisele, V., Mönicke, H.-J. (Hrsg.): Applications of Geodesy to Engineering - International Association of Geodesy Symposia 108, S. 290-302, Springer, Berlin-Heidelberg-New-York, 1993

Sternberg, H.: Messgrößen und Beobachtungsverfahren für GPS-Messungen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 85-106, Neubiberg, 1993

Welsch, W.: A General 7-Parameter Transformation for the Combination, Comparison and Accuracy Control of Terrestrial and Satellite Network Observations. manuscripta geodaetica 18, S. 295-305, 1993

Welsch, W.: Einige vermessungstechnische Aufgaben im Automobilbau und ihre Bearbeitung. Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVW), Landesverein Bayern, Mitteilungsblatt 45, S. 251-272, 1993

Welsch, W.: Vermessungsverfahren im Maschinen- und Anlagenbau, 30. DVW-Seminar, Hamburg, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 100, S. 447-448, 1993

Welsch, W.: Vermessungstechnische Möglichkeiten des Global Positioning System - Rückblick und Ausblick. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): Praktischer Einsatz des Global Positioning System (GPS) in der Landes- und Ingenieurvermessung. Schriftenreihe Studiengang Verwesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 45, S. 281-302, Neubiberg, 1993

Welsch, W.: Ein Ingenieurbauprojekt aus geodätischer Sicht. In: 20 Jahre Universität der Bundeswehr München - Dies Academicus 1993: Eine Dokumentation, S. 28-34, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 1993

Welsch, W.: The Catastrophic Ice- and Rockfall and the Landslide of Nevado Huascarán, Perú on May 31, 1970. Proceedings International Conference on Cartography - Geodesy, Maracaibo, Venezuela, Vol. I, S. 299-309, Madrid, 1993

Welsch, W.: Some Considerations about the Combination of Terrestrial and Satellite Networks (russisch). Izwestia Wyshich Utschebnych Zawedeniy: Geodesia i Aerophotosemka, No. 1-2, S. 112-129, Moskau, 1993

Welsch, W.: Anwendungen des Global Positioning System (GPS) in der Ingenieurmessung. Mitteilungen des Geodätischen Institutes der Universität Innsbruck, Heft Nr. 15, S. 80-97, Innsbruck, 1993

Welsch, W., Pelzer, H., Krauter, E: Prediction of Rockfall Events: The Geheyan and the Lianziya Projects. IAG-General Meeting, Beijing, Book of Abstracts, p. 384, Chinese Society for Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Beijing, 1993

1994

Baltzer, U.: Some aspects of updating digital data in GIS. Proceedings EGIS/ MARI 94, S. 2079-2084, Paris, 1994

Beckers, H., Krack, K., Scherer, B., Schönwetter, W., Widmann, R.: Nivellieren mit GPS, Praktische Messungen auf der Testschleife Koblenz Nachrichtenblatt der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz 37, S. 287-303, Koblenz, 1994

Caspary, W.: Dealing with fuzzy sets in Geo-Information Systems. Proceedings XX. FIG Congress, 505.3, Melbourne, 1994

Caspary, W.: GIS-Technologie und Vermessungswesen. In: Brunner, K. und J. Peipe (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 46, S. 49-54, Neubiberg, 1994

Caspary, W., Wichmann, K.: Lineare Modelle - Algebraische Grundlagen und statistische Anwendungen. Oldenbourg, München-Wien, 1994

Darby, D., Welsch, W.: Strain Accumulation across and between Geological Faults in New Zealand - The Wellington GPS Project. Proceedings 1st Turkish International Symposium on Deformations, S. 810-818, Istanbul, 1994

Heister, H.: Planning gyro measurements with particular reference to systematic error sources. South African Journal of Surveying and Mapping, Vol. 22, S. 217-223, 1994

Hollmann, R., Lang, M., Welsch, W.: Geodetic Surveillance and the Dynamic Behaviour of a Bridge. Proceedings Perelmuter Workshop on Dynamic Deformation Models, S. 152-170, Haifa, 1994

Hollmann, R., Welsch, W.: GPS for Precise Engineering Surveying Applications. Proceedings XX. Congress der FIG, S. 1-11, Melbourne, 1994

Joos, G.: Quality Aspects of Geo-Informations. Proceedings EGIS/MARI 94, S. 1147-1153, Paris, 1994

Milev, G., Pfeufer, A., Proszynski, W., Steinberg, G., Teskey, W.F., Welsch, W.: Report of the Ad Hoc-Committee on Classification of Deformation Models and Terminology. Survey Review, S. 314-322, 1994

Milev, G., Pfeufer, A., Proszynski, W., Steinberg, G., Teskey W.F., Welsch, W.: Classification of Models for the Geodetic Examination of Deformations. Proceedings Perelmuter Workshop on Dynamic Deformation Models, S. 94-108, Haifa, 1994

Mönicke, H.-J., Heger, W., Heister, H.: Kinematische Vermessungsmethoden - Eine Übersicht. In: 78. Deutscher Geodätentag 1994 in Mainz, Schriftenreihe des DVW, Band 12, S. 189-192, Wittwer, Stuttgart, 1994

Schödlbauer, A.: Einrichtung eines grundlegenden geodätischen Festpunktfeldes in Ruanda mit Hilfe des Global Positioning System (GPS). In: 78. Deutscher Geodätentag 1994 in Mainz, Schriftenreihe des DVW, Band 12, S. 75-84, Wittwer, Stuttgart, 1994

Sternberg, H., Caspary, W.: Determination of Alignment Elements of Surveyed Routes for Geographical Information Systems. Proceedings International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, S. 359-364, Calgary, 1994

Welsch, W.: Die glazialgeodätischen Arbeiten Professor Dorrers. In: Brunner, K., Peipe, J. (Hrsg.): Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 46, S. 15-24, Neubiberg, 1994

Welsch, W.: In Memory of Professor Avraam Perelmuter. Proceedings Perelmuter Workshop on Dynamic Deformation Models, S. 4-5, Haifa, 1994

Zhong, D., Welsch, W.: Optimales Design erster Ordnung für ein Netz zur Kontrolle eines großräumigen Alignements. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 101, S. 132-142, 1994

1995

Caspary, W., Chen G. P.: Identifikation stochastischer Prozesse bei Vorhandensein grober Messfehler - Teil I: AR(p)- und MA(q)-Modelle. Zeitschrift für Vermessungswesen 120, S. 479-488, 1995

Caspary, W., Chen G. P.: Identifikation stochastischer Prozesse bei Vorhandensein grober Messfehler - Teil II: ARMA(p, q)-Modelle. Zeitschrift für Vermessungswesen 120, S. 556-565, 1995

Caspary, W., Heister, H., Hock, Chr., Klemm, J., Sternberg, H.: The Kinematic Surveying System KiSS - Design, Mechanization, Application. Proceedings DSNS 95, The Fourth International Conference on Differential Satellite Navigation Systems, Bergen, 1995

Caspary, W., Heister, H., Hock, Chr., Klemm, J., Sternberg, H.: A Kinemtic Survey System for Transportation Infrastructure. Proceedings International FIG Symposium Commission 6, S. 36-41, Kapstadt, 1995

Caspary, W., Heister, H., Kwiecie, J.: The digitizing of road networks using mobile system. Geodezia i Kartografia t. XLIV, S. 445-453, 1995

Heister, H.: Zur Überprüfung von Präzisions-Nivellierlatten mit digitalem Code. In: Brunner, K. und J. Peipe (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60.Geburtstag. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 46, S. 95-101, Neubiberg, 1995

Heister, H.: The Mobile Mapping System KiSS, In. Minutes of the Joint Workshop on Integrated Acquisition and Interpretation of Photogrammetric Data, Stuttgart, 1995

Heister, H., Caspary, W., Hock, Chr., Klemm, J., Sternberg, H.: KiSS a Hybrid Measuring System for Kinematic Surveying. In: Linkwitz / Hangleiter (Hrsg.): High Precision Navigation 95. S. 561-568, Dümmler, Bonn, 1995

Hock, Chr., Caspary, W., Heister, H., Klemm, J., Sternberg, H.: Architecture and Design of the Kinematic Survey System KiSS. In: Linwitz / Hansleiter (Hrsg.): High Precision Navigation 95. S. 569 - 576, Dümmler, Bonn, 1995

Hock, Chr., Caspary, W., Heister, H., Klemm, J., Sternberg, H.: Automatic Data Acquisition Using a Kinematic Surveying System. In: Videometrics IV, Sabry F. El-Hakim (Hrsg.): Proceedings SPIE 2598, S. 286-294, Bellingham, 1995

Hock, Chr., Caspary, W., Heister, H., Klemm, J., Sternberg, H.: A Kinematic Surveying System for Automatic GIS-data Acquisition. In: Videometrics IV, Sabry F. El-Hakim (Hrsg.): Proceedings SPIE 2598, Bellingham, 1995

Hollmann, R., Welsch, W.: El GPS en aplicaciones de topografía de ingeniería de precisión. Topografía y Cartografía XII (1995)68, S. 40-50. 1995

Markuze, J., Welsch, W.: Two Algorithms for the Combination of Terrestrial and GPS Networks (russisch). Izwestija Wysschtschich Utsebnich Zawedenij: Geodesia i Aeka, Moskau (1995)2, S. 45-64, 1995

Scheuring, R.: Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 49, Neubiberg, 1995

Voser, St. A.: Datenaustausch zwischen Geo-Informationssystemen - Abbildung zwischen zwei Datenmodellen auf konzeptioneller und logischer Ebene. Proceedings ESRI - 3. Deutsche ARC/INFO Anwenderkonferenz, S. 71-78, 1995

Welsch, W.: 3rd International Workshop on High Precision Navigation, Symposiumsbericht, Zeitschrift für Vermessungswesen 120 Heft 8, S. 415-416, 1995

Welsch, W.: International Symposium of FIG Commission 6 on Engineering Surveying, Survey Review 33, S. 287-288, 1995

Welsch, W.: Engineering Surveying in Our Days. Proceedings International Symposium Engineering Surveying, FIG Commission 6, S. 272-290, Cape Town, 1995

Welsch, W.: Engineering Surveying - State of the Art, Trends and Prospects. South African Journal of Surveying and Mapping 23-Part 1, Heft 137, S. 11-26, 1995

1996

Caspary, W.: Anmerkungen zum robusten Schätzen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 103, S. 287-298, 1996

Caspary, W., Joos, G.: Ein Qualitätsmanagement für Geobasisdaten. In: Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.) Das Geoinformationssystem ATKIS und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung, S. 169-178, Koblenz, 1996

Caspary, W., Sutor, T.: Robust Estimation in the Frequency Domain. Proceedings of the 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements, S. 259-268, Hong Kong, 1996

Chen, G: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 53, Neubiberg, 1996

Darby, D., Beavan, J., Williams, R., Welsch, W., Hollmann, R.: Coupling of the Hikurangi Subduction Interface Beneath the Wellington Region of New Zealand as Interferred from GPS Measurements. Western Pacific Geophysics Meeting, Abstract, Eos, Transactions, American Geophysical Union, 1996

Heister, H.: GPS-Fehlerhaushalt - Zur Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS. VDV-Schriftenreihe, Band 13, S. 106-134, Wiesbaden, 1996

Heister, H.: Qualitätssicherung und Kalibrierung geodätischer Messmittel. In: Brandstätter / Brunner / Schelling (Hrsg.), Ingenieurvermessung 96 - Beiträge zum XII. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Band 2, S. C/2-C/9, Dümmler, Bonn, 1996

Joos, G.: Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen von Geodaten. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, 1996

Joos, G.: Konsistenzprüfung für das ATKIS-Datenmodell. Interner Bericht, Heft Nr. 5, Institut für Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock, S. 103-109, 1996

Lang, M., Welsch, W.: Möglichkeiten und Grenzen von Theodolitmesssystemen bei der geometrischen Qualitätssicherung im Maschinenbau. In: Pelzer, H., Heer, R. (eds.): Proceedings of the 6th International FIG-Symposium on Deformation Measurements, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 217, S. 436-449, Hannover 1996

Marcus, M. G., Chambers, F. B., Miller, M. M., Lang, M.: Recent Trends in Lemon Creek Glacier, Alaska. Physical Geography, Vol. 16, S. 150-161, 1996

Markuze, J., Welsch, W.: Two Algorithms of Combination of Terrestrial Geodetic and Satellite GPS Networks. Surveying Science in Finland 14, S. 3-25, 1996

Sternberg, H., Caspary, W., Heister, H., Hock, Chr., Klemm, J.: Kinematische Anwendungen von INS/GPS. In: Kinematische Messmethoden in der Ingenieur- und Industrievermessung, Schriftenreihe des DVW Band 22, Wittwer Verlag, Stuttgart, 1996

Voser, S.: Anforderungen an die Geometrie zur gemeinsamen Nutzung unterschiedlicher Datenquellen. Tagungsband 4. Deutsche Anwenderkonferenz ESRI, S. 209-217, 1996

Welsch, W.: Geodetic analysis of dynamic processes: classification and terminology. Proceedings of the 8th International Symposium on Deformation Measurements, S. 147-156, Hong Kong, 1996

Welsch, W.: The 8th International Symposium on Deformation Measurements, Report on the Panel Discussion and the Closing Session, Proceedings, p. 447, 1996

1997

Caspary, W., Heister, H., Sternberg, H.: KiSS, a data Acquisition System for Transportation Infrastructure Management Databases. Proceedings International Symposium on GIS, Istanbul -97, 1997

Heister, H.: Experimentelle Untersuchungen zur Horizontalrefraktion im Tunnelbau. Proceedings IX. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1997 - Fachvorträge. Institutsmitteilungen des Instituts für Geodäsie der Universität Innsbruck, Heft 17, S. 79-91, Insbruck, 1997

Heister, H.: Hybride Vermessungssysteme. In: Wenzel, H.-G., Zick, W. (Hrsg.): 81. Deutscher Geodätentag 1997 in Karlsruhe, DVW-Schriftenreihe, Heft 27, S. 271-276, 1997

Heister, H., Hollmann, R., Lang, M.: Multipath-Einfluss bei GPS-Phasenmessungen: Auswirkungen und Konsequenzen für praktische Messungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 104, S. 166-177, 1997

Joos, G., Baltzer, U., Kullmann, K.-A.: Qualitätsmanagement beim Aufbau einer topographischen Grunddatenbank am Beispiel von ATKIS in Hessen. Zeitschrift für Vermessungswesen 122, S. 149-159, 1997

Klemm, J., Caspary, W., Heister, H.: Photogrammetric Data Organization with the Mobile Surveying System KiSS. Proceedings of the 4th Conference on Optical 3D-Measurement Techniques, S. 300-308, Zürich, 1997

Krack, K.: Praktische Erfahrungen mit den GPS-Auswertesystemen BERNESE GPS SOFTWARE, Version 4.0 und SKI. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 104, S. 301-305, 1997

Krack, K., Bitta, G.: Rückblick auf 20 Jahre Zusammenarbeit zwischen Vermessungsverwaltung und dem Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München im Rahmen der Hauptvermessungsübungen. Mitteilungsblatt DVW Bayern, S. 153-162, 1997

Lang, M.: Geodetic Contributions to Glaciology - A Review of Various JIRP Survey Projects. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 50, S. 137-147, 1997

Lang, M., Welsch, W.: Movement Vector and Strain Rate Determination for the Taku Glacier System. Schriftenreihe Studiengang Vermessungwesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 50. S. 91-116, 1997

Marcus, M. G., Chambers, F. B., Miller, M. M., Lang, M.: Recent Trends in Lemon Creek Glacier, Alaska. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 50, S. 185-197, 1997

McCarthy, T. S., Barry, M., Bloem, A., Ellery, W.N., Heister, H., Merry, Ch., Rüther, H., Sternberg, H.: The gradient of the Okavango fan, Botswana, and its sedimentological and tectonic implications. Journal of African Earth Sciences, Vol. 24, S. 65-78, 1997

Merry, Ch., Heister, H., Rüther, H., Barry, M.: GPS Measurements in the Okavango Delta. Proceedings 11th Conference of Southern African Surveyors, Durban, 1997

Schödlbauer, A.: Considerations and Experiences Dealing with the Use of the Global Positioning System for Establishing Tunnel Networks. Proceedings 100th Anniversary of the Turkish Mapping, S. 123-138, Ankara, 1997

Schödlbauer, A.: The Impact of the Global Positioning System on Tunnel Surveying. Proceedings FIG Symposium Surveying of Large Bridge and Tunnel Projects, S. 123-137, Kopenhagen, 1997

Sutor, T.: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich. Schriftenreihe Studiengang Vermessungs-wesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 56, 1997

Wang, J. G.: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 52, Neubiberg, 1997

Welsch, W.: Models for the Geodetic Analysis of Dynamic Processes. Revista Gjeodezike (Organ i Shoqatës së Gjeodetëve Shqiptarë) 1 S. 62-68, Tiranë, 1997

Welsch, W., Lang, M., Miller, M. M.(Eds.): Geodetic Activities, Juneau Icefiled, Alaska, 1981-1996. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 50, 1997

Zhong, D.: Robust Estimation and Optimal Selection of Polynomial Parameters for the Interpolation of GPS Geoid Heights. Journal of Geodesy 71, S. 552-561, 1997

Zhong, D.: Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 58, Neubiberg, 1997

Zhong, D., Welsch, W.: The Parallel Sum of Matrices and Its Application to Geodetic Adjustments. Journal of Geodesy 71, S. 171-175, 1997

Zhong, D., Welsch, W., Niemeier, W.: Zur Kompensation von Lotabweichungs- und Refraktionseinflüssen auf ingenieurgeodätische Netze. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 104, S. 197-203, 1997

1998

Caspary, W.: Anmerkungen zur balancierten Ausgleichung. Zeitschrift für Vermessungswesen 123, S. 271-272, 1998

Caspary, W., Joos, G.: Quality Criteria and Control for GIS Databases. In: H. Kahmen, E. Brüchl, Th. Wunderlich (Eds.) Proceedings of the International Association of Geodesy (IAG) SC4 Symposium. S. 436-441, Eisenstadt, 1998

Caspary, W., Wang, J.: Redundanzanteile und Varianzkomponenten im Kalman-Filter. Zeitschrift für Vermessungswesen 123, S. 121-128, 1998

Heunecke, O., Pelzer, H., Welsch, W.: On the Classifiaction of Deformation Models and Identification Methods in Engineering Surveying. XXI. Féderation Internationale des Géomètres (FIG) Congress, Proceedings Vol.6, S. 230-245, 1998

Koppers, L.: 3D-Map - Virtual Reality and Geo-Data. In: EOGEO 98, nur als CD-ROM publiziert. Universität Salzburg, 1998

Koppers, L., Reinhardt, W.: Dreidimensionale Landschaftsmodellierung und Visualisierung. Proceedings CORP 98, S. 385-389, Wien, 1998

Krack, K.: Ein allgemeiner Ansatz zur Lösung der ersten geodätischen Grundaufgabe mit Hilfe der Computeralgebra. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 105, S. 388-395, 1998

Merry, C. L., Heister, H., Barry, M., Ellery, W. N., McCarthy, T.S., Rüther, H., Sternberg, H.: GPS Heighting in the Okavango Delta. Journal of Surveying Engineering. S. 145-155, 1998

Mösbauer, M., Caspary, W.: AIDA - Multimedia Alpine Guide Italia, Deutschland, Austria. In: K. Keitz (Ed.): Hochgebirgskartographie, Silvretta 98. Wiener Schriften zur Kartographie, Band 11. S. 169-173, Wien, 1998

Sternberg, H., Caspary, W., Heister, H.: Mobiles Vermessungssystem KiSS. In: Hybride Vermessungssysteme - Grundlagen und Anwendungen, Schriftenreihe des DVW Band 29, Wittwer Verlag, Stuttgart, 1998

Sternberg, H., Caspary, W., Heister, H.: Determination of the Trajectory Surveyed by the Mobile Surveying System KiSS. In: Kahmen / Brüchl / Wunderlich (Eds.): Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering. S. 361-366, Eisenstadt, 1998

Wang, J., Caspary, W.: Identifikation und Kompensation systematischer Sensor-Fehler im Kalman-Filter. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 105, S. 224-230, 1998

Welsch, W.: Überblick über Modelle zur geodätischen Analyse dynamischer Prozesse. In: Möser, M. (Hrsg.): Messtechniken und Auswertealgorithmen für die praktische Deformationsnalyse heute und morgen. DVW-Schriftenreihe, Band 30, S. 70-86, K. Wittwer Verlag, Stuttgart, 1998

Welsch, W.: GPS in Glaciology: Geodetic Activities on the Juneau Icefield, Alaska. Spatial Information - Science, Technology and Applications (SIST 98) Proceedings, Wuhan University of Surveying and Mapping Press. S. 85-91, Wuhan, 1998

Welsch, W., Lang, M., Tsoutsoulopoulou, A.: Geodetic Activities during the 1998 Juneau Icefield Research Program Field Season. Open File Report to the Glaciological and Arctic Sciences Institute, State University of Idaho. Bundeswehr University Munich, Neubiberg, 1998

1999

Caspary, W.: Multimedia Guide for Alpine Hikers and Bikers.
http://www.echo.lu/tampere/agenda.html, 1999

Caspary, W., Joos, G.: Statistical Quality Conrol of Geodata. Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Quality, S. 97-104, Hong Kong, 1999

Heister, H.: Checking, Testing and Calibrating of Geodetic Instruments – Some remarks with respect to recent developments in this field -. In Lilje M. (Ed.): Geodesy and Surveying in the Future – The Importance of Heights, Proceedings. Gävle, S. 239 - 247, 1999

Heister, H., Lang, M., Merry, C. L., Rüther, H.: Determination of an Orthometric Height Profile in the Okavango Delta Using GPS Levelling. Proceedings of the FIG Working Week and Survey 1999, TS 20, B1-B10, 1999

Joos, G.: Assessing the Quality of Geodata by testing Consistency with respect to the conceptual Data Schema. In: M. Craglia and H. Onsrud (Eds.), Geeographic Information Research: Trans-Atantic Perspectives. Taylor & Francis, London [u.a.]. 1999

Koppers, L., Schäfer, S.: Touren-Routing mit GIS – Ein neuer Ansatz: das Seilanpassungsverfahren. GIS Geo-Informations-Systeme, S. 19-23, 1999

Krack, K.: Dreizehn Aufgaben aus der Landesvermessung im geographischen Koordinatensystem. Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 65, Neubiberg, 1999

Krack, K., Scherer, B., Schödlbauer, A.: Auswertung des Deutschen GPS-Referenzsystems 1991 (DREF '91) unter Verwendung der Empfängertypen (Trimble 4000SST, STD, SLD, WM102, TI4100, MiniMac) auf der Grundlage vorverarbeiteter einfacher Phasendifferenzen. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 9, S. 126 – 145, 1999

Leukert, K., Reinhardt, W., Seeberger, S.: GIS-Internet-Architekturen. Tagungsband: Management von Umweltinformationen in vernetzten Umgebungen, (2. Workshop des Arbeitskreises Hypermedia im Umweltschutz, 8. Workshop der Fachgruppe Betriebliche Umweltinformationssysteme), S. 203-210, 1999

Mösbauer, M.: EU-Projekt INFO2000 – Multimedialer Alpen-Tourenführer Italia Deutschland Austria (AIDA). Katalog zur Ausstellung des Bayerischen Landesvermessungsamtes und des Deutschen Alpenvereins München, S. 222-225, München, 1999

Mösbauer, M.: Alpine Guide Italia – Deutschland – Austria. Proceedings for the 5th EC-GIS Workshop at the Joint Research Centre, Space Applications Institute, Environment and Geo-Information Unit, Stresa, 1999

Nagel, G., Welsch, W. (Hrsg.): Karten der Berge – Vom Messtisch zur Satellitenvermessung. Katalog zur Ausstellung des Bayerischen Landesvermessungsamtes und des Deutschen Alpenvereins, Alpines Museum des DAV, München, 1999

Sternberg, H., Caspary, W., Heister, H.: Filteralgorithms for Optimal Determination of Position and Attitude of the Mobile Mapping System KiSS. Proceedings International Workshop on Mobile Mapping Technology, S. 221-226, Bangkok, 1999.

Trentin-Meyer, M., Welsch, W.: Karten der Berge – Vom Messtisch zur Satellitenvermessung. DAV-Panorama – Mitteilungen des Deutschen Alpenvereins 515, S. 32-36, 1999

Welsch, W.: Das Global Positioning System – ein Überblick. In: Nagel, G., Welsch, W. (Hrsg.): Karten der Berge – Vom Messtisch zur Satellitenvermessung. Katalog zur Ausstellung des Bayerischen Landesvermessungsamtes und des Deutschen Alpenvereins, Alpines Museum des DAV, 1999

Welsch, W.: Fortgeschrittene geodätische Deformationsanalyse. In: Krumm, F., Schwarze, V. S. (eds.): Quo vadis geodesia...? Festschrift für Erik W. Grafarend, S. 505-514. Schriftenreihe der Institute des Studiengang Geodäsie und Geoinformatik. Stuttgart, 1999

2000

Becker, J. M., Heister, H., Slaboch, V.: New technical Standards Improving the Quality in Positioning and Measurement. FIG Working Week Prague 2000, Proceedings on CD, Prague, 2000

Becker, M., Mareyen, M.: On the removal of a priori restrictions from GPS network solutions in a sinex format. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 107, S. 405-411, 2000

Bielawskie, L.: Aufbau eines Messbusses zur Datenerfassung für kinematische Vermessung. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 111-116, Neubiberg, 2000

Caspary, W.: Kinematic Surveying. Proceedings FIG-Seminar: Mediterranean Surveyor in the new Millennium, Malta, 2000

Caspary, W.: Zur Analyse geodätischer Zeitreihen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 1-26, Neubiberg, 2000

Caspary, W., Heister, H., Klemm, J., Sternberg, H.: Straßenaufnahmen durch kinematische Vermessung. In Schnädelbach, K., Schilcher, M. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 2000, S. 304-310, München, 2000

Caspary, W., Joos, G., Mösbauer, M.: Multimedia und mobile GIS. Zeitschrift für Vermessungswesen 125, S. 272-279, 2000

Caspary, W., Sutor, T.: Times Series Analysis for Deformation Monitoring. In: Secord, J. (Ed.), Festschrift in Honour of Adam Chrzanowski, UNB Technical Report. 205, S. 16-23, 2000

Caspary, W., Reinhardt, W.: GIS im Internet / Intranet, Mitteilungsblatt DVW Bayern 52, S. 385-388, München, 2000

Chen, G.P., Sternberg, H.: Einsatz des Kalman-Filters zur kinematischen Positionierung eines Landfahrzeuges aus GPS-Daten. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 117-128, Neubiberg, 2000

Ebner, M., Joos, G.:Nichts geht über Qualität, Energie & Management, Jahresmagazin, S. 44-49, 2000

Geiger, A.: Die Lehrveranstaltung Vermessungskunde für Bauingenieure an der Fachhochschule Regensburg. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 129-134, Neubiberg, 2000

Glasmacher, H.: Einfache und schnelle Prüfung von GPS Antennen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 135-142, Neubiberg, 2000

Gräfe, G., Heister, H.: Low-Cost-DGPS im kinematischen Einsatz. Proceedings: 3. SAPOS-Symposium, S. 58 – 71, München, 2000

Gräfe, G., Klemm, J., Sternberg, H.: Das kinematische Vermessungssystem KiSS: Zentrierung der Sensordaten und Transformation in das Fahrzeugsystem. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.). 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 143-154, Neubiberg, 2000

Gros, F. J.: Rechnergestützte Kartographie – Konzeption, Technik und erste Erfahrungen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 155-166, Neubiberg, 2000

Heister, H.: Zur Überprüfung geodätischer Instrumente. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 69-90, Neubiberg, 2000

Heister, H.: The Expression „Uncertainty of Measurement" in Geodetic Metrology. Proceedings „The Mediterranean Surveyor in the New Millenium, Malta, 2000

Heister, H.: Orientierungskontrolle mit Hilfe von Präzisons-Kreiselmessungen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 98, S. 700 – 701, 2000

Heister, H., Koppers, L., Musäus, S., Plan, O., Reinhardt, W.: ALOIS – Ein integriertes Lokortungs- und Informationssystem. In: Schnädelbach, K., Schilcher, M. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 2000, S. 329 – 333, Wittwer, Stuttgart, 2000

Heunecke, O., Welsch, W.: Terminology and Classification of Deformation Models in Engineering Surveys. Journal of Geospatial Engineering 2, S. 35-44. Hong Kong, 2000

Hollmann, R.: Untersuchungen von GPS-Beobachtungen für kleinräumige geodätische Netze. Schriftenreihe Studiengans Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 69, Neubiberg, 2000

Joos, G.: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 66, Neubiberg, 2000

Joos, G.: Qualitätskontrolle von Geodaten der Versorgungsunternehmen. In: Schnädelbach, K., Schilcher, M. (Hrsg.). Ingenieurvermessung 2000, S. 291-299, Wittwer, Stuttgart, , 2000

Joos, G.: Internet GIS: Entwicklungen beim OGC. In Tagungsband zum Symposium Web. Mapping, 2000, S. X.1-X.12, Karlsruhe, 2000

Joos, G.: GIS im Internet - Entwicklungen des OGC, Mitteilungsblatt DVW Bayern, S. 429-439, München, 2000

Kelm, R.: Datumsoptimale Datenverarbeitung in der Netzausgleichung. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 167-180, Neubiberg, 2000

Kersting, N.: Einführung und Einsatz von Geograhpischen Informationsystemen in Kleinkommunen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 181-204, Neubiberg, 2000

König, R.: Nichtlineare Analyse einer realen Zeitreihe im Vergleich zu bekannten chaotischen und zufälligen Systemen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 205-214, Neubiberg, 2000

Koppers, L.: Dynamische Visualisierung von 3D-GIS-Daten auf Basis der Internet-Technologie. Mitteilungsblatt der DVW Landesverein Bayern 52, S. 441-458, 2000

Koppers L., Caspary, W., Joos, G.: EU-Projekt Mulimedialer Wanderführer. Hochschulkurier, Universität der Bundeswehr München, Nr. 8, S. 47-49, Neubiberg, 2000

Koppers, L., Heister, H., Musäus, S., Plan, O., Reinhardt, W.: ALOIS - Ein integriertes Lokortungs- und Informationsystem. In: Schilcher, M., Schnädelbach, K. (Hrsg.): Proceedings Ingenieurvermessung 2000, München, 2000

Koppers, L., Heister, H., Musäus, S., Plan, O., Reinhardt, W.: ALOIS - An integrated train positioning and information system. In: Schnieder, E., Becker, U. (Eds.) Prodeedings 9th IFAC Symposium Control in Transportation Systems 2000, Braunschweig, 2000

Koppers, L., Heister, H., Musäus, S., Plan, O., Reinhardt, W.: ALOIS - Allgemeines Lokortungs- und Informationssystem. Hochschulkurier, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Nr. 8, S. 49-51, 2000

Krack, K.: Mathematica Programme zur Darstellung des Zusammenhanges von geographischer Breite und Meridianbogenlänge auf Rotationsellipsoiden. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 91-110, Neubiberg, 2000

Lang. M.: Die Grünwalder Brücke – ein historisches Bauwerk im Lichte geodätischer Überwachungsmessungen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 215-230, Neubiberg, 2000

Lechner, W., Baumann, S.: Verkehrstelematik. Was ist das, wer braucht das, wer bietet das an. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 231-250, Neubiberg, 2000

Leukert, K., Reinhardt, W., Seeberger, S.: GIS-Internet Architekturen Zeitschrift für Vermessungswesen 125, S. 23-28, 2000

Leukert, K., Reinhardt, W.: GIS-Internet architectures. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. XXXIII, Part B4, S. 572-578, Amsterdam, 2000

Leukert, K., Seeberger, S.: GIS-Internet – Techniken und Marktüberblick. Mitteilungsblatt des DVW-Bayern 52, S. 403-414, 2000

Leukert, K., Reinhardt, W., Ohlhof, T., Emge, T., Heipke, C., Pakzad, K.: Generation and Update of VMap Data Using Satellite and Airborne Imagery International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. XXXIII, Part B4, S. 762-768, Amsterdam, 2000

Mösbauer, M.: Datenbasis für die Entwicklung eines multimedialen Softwareproduktes zur Planung von Freizeitaktivitäten in den Alpen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 251-258, Neubiberg, 2000

Neudeck, S.: Transaktionsmechanismen bei der Verwaltung von Geodaten in einer Multiuser Umgebung. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 259-266, Neubiberg, 2000

Richter, B.: Elliptische Punktbewegungen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 267 -280, Neubiberg, 2000

Scherer, B., Krack, K.: Lokale Geoidbestimmung im Inntal Netz. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 281-304, Neubiberg, 2000

Schödlbauer, A.: Geodätische Astronomie, Aussichten an der Schwelle zum 21. Jahrhundert. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 27-56, Neubiberg, 2000

Schödlbauer, A.: Geodätische Astronomie - Grundlagen und Konzepte. W. de Gruyter Verlag. Berlin , New York, 2000

Schwintzer, P.: Globale Schwerefeldbestimmung aus Satellitenbahnstörungen: Status, Anwendung und Entwicklungsmöglichkeiten mit der CHAMP Satellitenmission. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 305-316, 2000

Sternberg, H.: Zur Bestimmung der Trajektorien von Landfahrzeugen mit einem hybriden Messsystem, Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 67, Neubiberg, 2000

Wang, J., Sternberg, H.: Modellentwicklung für die kinematische Vermessung von Landverkehrswegen. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformatio, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 317 - 331, Neubiberg, 2000

Welsch, W.: Geodätische Analyse dynamischer Prozesse. In: Institut für Geodäsie (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Schriftenreihe Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, Heft 60-1, S. 57-68, Neubiberg, 2000

Welsch, W.: Geodätische Möglichkeiten und Überlegungen zur Erfassung von Hangrutschungen. In: A. v. Poschinger und J. Stötter (Red.): Grundlagen, Erfassung und Darstellung von Sturz-, Rutsch- und Murprozessen. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte 33, S. 105-118. München, 2000

Welsch, W.: Juneau Icefield, Alaska: Glacio-Geodetic Measurements. Festschrift in Honour of Adam Chrzanowski. University of New Brunswick, Technical Report No. 205, S. 148-162. Fredericton, 2000

Welsch, W., Heunecke O.: Terminology and Classification of Deformation Models Final Report of the Ad-Hoc Committee of the FIG Working Group 6.1. 9 th International FIG Symposium on Deformation Measurements, Proceedings, S. 416-429, Olsztyn, 2000

Welsch, W., Heunecke, O.: Zur Systematisierung der Auswertemodelle geodätischer Überwachungsmessungen. Zeitschrift für Vermessungswesen 125, S. 361-368, 2000

Welsch, W., Heunecke, O., Kuhlmann, H.: Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000

Welsch, W., Lang, M.: Geodetic Activities during the 1999 Juneau Icefield Research Program Field Season. Open File Report to the Glaciological and Arctic Sciences Institute, University of Idaho and Bundeswehr University Munich, S.117, Neubiberg, 2000

Welsch, W.: Dynamic Deformation Models in Engineering Surveying, International Scientific and Technical Conference - Dedicated to the 220 th Anniversary of Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Proceedings, S. 136-144, Moskau, 2001

Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München

Bisher erschienene Hefte:

Heft 1/1978 *(vergriffen)*

A. Schödlbauer (Bearb.): Curriculum für den wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München. 53 S.

Heft 2/1978

A. Chrzanowski and E. Dorrer (Eds.): Proceedings "Standards and Specifications for Integrated Surveying and Mapping Systems". Workshop held in Munich, Federal Republic of Germany, 1-2 June, 1977. Assissted by *J. McLaughlin*. VII, 181 S.

Heft 3/1978

W. Caspary und A. Geiger: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungsmesser. 62 S.

Heft 4/1979

E. Baumann, W. Caspary, H. Dupraz, W. Niemeier, H. Pelzer, E. Kuntz, G. Schmitt und W. Welsch: Seminar über Deformationsanalysen, gehalten an der Hochschule der Bundeswehr München. 106 S.

Heft 5/1981

K. Torlegård: Accuracy Improvement in Close Range Photogrammetry. 68 S.

Heft 6/1982

W. Caspary und W. Welsch (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. 271 S.

Heft 7/1982

K. Borre and W. M. Welsch (Eds.): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings "Survey Control Networks". Meeting of Study Group 5B, 7th-9th July, 1982, Aalborg University Centre, Denmark. 431 S.

Heft 8/1982

A. Geiger: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente. Dissertation. 125 S.

Heft 9/1983

W. Welsch (Hrsg.): Deformationsanalysen '83. Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen Geodätischer Netze. Beiträge zum Geodätischen Seminar 22. April 1983. 339 S.

Heft 10/1984

W. Caspary, A. Schödlbauer und W. Welsch (Hrsg.): 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Beiträge aus dem Institut für Geodäsie. 244 S.

Heft 11/1984 *(vergriffen)*

W. Caspary und H. Heister (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 23. September 1983. 270 S.

Heft 12/1984

P. Schwintzer: Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen. Dissertation. 159 S.

Heft 13/1984

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung. 81 S.

Heft 14/1984

G. Neukum: Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse. Mit Beiträgen von *G. Neugebauer*. Herausgegeben von *G. Neugebauer*. 102 S.

Heft 15/1984

A. Schödlbauer und W. Welsch (Hrsg.): Satelliten-Doppler-Messungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar 24./25. September 1984. 396 S.

Heft 16/1985 *(vergriffen)*

M. K. Szacherska, W. M. Welsch: Geodetic Education in Europe. 234 S.

Heft 17/1986

B. Eissfeller, G. W. Hein: A Contribution to 3d-Operational Geodesy. Part 4: The Observation Equations of Satellite Geodesy in the Model of Integrated Geodesy. 190 S.

Heft 18/1985

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil II. 116 S.

Heft 19/1986 *(vergriffen)*

H. Landau, B. Eissfeller and G. W. Hein: GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy. 210 S.

Heft 20/1985
Heft 20-1

W. Welsch and L. A. Lapine (Eds.): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings "Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys". Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1 - 3, 1985. Volume 1. 310 S.

Heft 20-2

W. Welsch and L. A. Lapine (Eds.): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings "Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys". Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1 - 3, 1985. Volume 2. S. 311 - 634

Heft 21/1986

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil III. 100 S.

Heft 22/1987

W. Caspary, G. Hein, A. Schödlbauer (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Geodätisches Seminar 25./26. September 1986. 386 S.

Heft 23/1987

E. Dorrer und J. Peipe (Hrsg.): Motografie. Symposium 11./12. März 1986. 285 S.

Heft 24/1987

G. Neugebauer (Hrsg.): Brenta-Monographie - Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Hochgebirgskartographie. Mit Beiträgen von *D. Beineke, H. C. Berann, W. de Concini, G. Hell, D. Herm, H. Immel, U. Kleim, G. Neugebauer und K. Ringle.* 187 S.

Heft 25/1987

A. Perelmuter: Beiträge zur Ausgleichung geodätischer Netze. 75 S.

Heft 26/1987

W. Ellmer: Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches. Dissertation. 109 S.

Heft 27/1988

H. Heister: Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmeßinstrumente. Habilitationsschrift. 213 S.

Heft 28/1987

E. H. Paßberger: Systemstudie zur Sicherung ökologischer Vorrangflächen mittels Bodenordnung in Bayern / System study for the protection of ecological priority areas by means of Land rearrangement in Bavaria. Dissertation. 186 S.

Heft 29/1987

H. Glasmacher: Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren. Dissertation. 131 S.

Heft 30/1987

Y. Zhang: Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze. Dissertation. 151 S.

Heft 31/1988

W. Lechner: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Dissertation. 165 S.

Heft 32/1988

R. König: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Dissertation. 143 S.

Heft 33/1988

H. Borutta: Robuste Schätzverfahren für geodätische Anwendungen. Dissertation. 161 S.

Heft 34/1988

H. Landau, K. Hehl, B. Eissfeller, G. W. Hein and I. W. Reilly: Operational Geodesy Software Packages. 325 S.

Heft 35/1988

G. Oberholzer, E. Paßberger: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil IV. 153 S.

Heft 36/1988

H. Landau: Zur Nutzung des Global Positioning Systems in Geodäsie und Geodynamik: Modellbildung, Softwareentwicklung und Analyse. Dissertation. 287 S.

Heft 37/1989

B. Eissfeller: Analyse einer geodätischen raumstabilisierten Inertialplattform und Integration mit GPS. Dissertation. 327 S.

Heft 38/1990 *(vergriffen)*
Heft 38-1

A. Schödlbauer (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil I: Global Positioning System. 352 S.

Heft 38-2

A. Schödlbauer (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil II: Nivellement. Teil III: Vermessungskreisel. S. 353-551

Heft 39/1989

N. Kersting, W. Welsch (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen. Seminar 8./9. Juni 1989. 307 S.

Heft 40/1989

G. Oberholzer: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung. 214 S.

Heft 41/1990

G. W. Hein, K. Hehl, B. Eissfeller, M. Ertel, W. Jacoby, D. Czerek: On Gravity Prediction Using Density and Seismic Data. 148 S.

Heft 42/1992

N. Kersting: Zur Analyse rezenter Krustenbewegungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen. Dissertation. V, 246 S.

Heft 43/1992

K. Hehl: Bestimmung von Beschleunigungen auf einem bewegten Träger durch GPS und digitale Filterung. Dissertation. XII, 206 S.

Heft 44/1992

W. Oswald: Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen. Dissertation. 128 S.

Heft 45/1993

Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 12.-14. 05. 1993. 314 S.

Heft 46/1994

K. Brunner und J. Peipe (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. 254 S.

Heft 47/1994
Heft 47-1

K.-H. Thiemann: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil I: Renaturierungsleitbild, Naturschutzverfahren. XXXVI, 384 S.

Heft 47-2

K.-H. Thiemann: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil II: Planungsrechtliche Aspekte. XXXVI, S. 385-572

Heft 48/1994

C. Schwiertz: Experimente zur GPS-gestützten Aerotriangulation unter besonderer Berücksichtigung systematischer Einflüsse. Dissertation. VIII, 192 S.

Heft 49/1995

R. Scheuring: Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen.
Dissertation. 126 S.

Heft 50/1997

W. M. Welsch, M. Lang, M. M. Miller (Eds.): Geodetic Activities, Juneau Icefield, Alaska, 1981-1996. 268 S.

Heft 51/1996

H. Blomenhofer: Untersuchungen zu hochpräzisen kinematischen DGPS-Echtzeitverfahren mit besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Fehlereinflüsse. Dissertation. X, 168 S.

Heft 52/1997

J. G. Wang: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Dissertation. XV, 138 S.

Heft 53/1996

G. Chen: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich. Dissertation. III, 128 S.

Heft 54/1997

J. Dold: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemeßsystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. Dissertation. 140 S.

Heft 55/1997

B. Eissfeller: Ein dynamisches Fehlermodell für GPS Autokorrelationsempfänger. Habilitationsschrift. XII, 182 S.

Heft 56/1997

T. Sutor: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich. Dissertation. 123 S.

Heft 57/1997

G. Oberholzer: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung, Teil II. 186 S.

Heft 58/1997

D. Zhong: Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze. Dissertation. 160 S.

Heft 59/1997

T. Jiang: Digitale Bildzuordnung mittels Wavelet-Transformation. Dissertation. II, 136 S.

Heft 60/2000

W. Caspary, H. Heister, A. Schödlbauer, W. Welsch (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie

Heft 60-1: Wissenschaftliche Arbeiten und Berichte, 331 S.

Heft 60-2: Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen, 113 S.

Heft 60-3: Aus dem Leben des Instituts, 149 S.