

50 Jahre Vermessungswesen in Baden-Württemberg – 50 Jahre Forschung und Lehre Vermessungswesen an der Universität Stuttgart

Von Dieter Fritsch, Erik W. Grafarend, Wolfgang Keller, Alfred Kleusberg und Wolfgang Möhlenbrink

Der Studiengang Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart geht einher mit der langen Tradition des Vermessungswesens in Baden-Württemberg. Viele Entscheidungsträger im staatlichen Vermessungswesen und freien Beruf haben in Stuttgart studiert. Infolge der aktuellen Entwicklungen des nach wie vor faszinierenden Fachgebiets Vermessungswesens wurde der Studiengang Vermessungswesen vor 5 Jahren umbenannt in **Geodäsie und Geoinformatik**. Mit dieser Bezeichnung sollten nicht nur die modernen und zielgerichteten Arbeitsgebiete der vier Institute besser wiedergegeben, sondern vor allem die Attraktivität des Fachgebiets für potenzielle Studierende erhöht werden. Damit hatte Stuttgart bundesweit wieder einmal ein Zeichen gesetzt: weitere Standorte in der BRD haben ihren Studiengang mittlerweile ebenso umbenannt oder sind dabei es zu tun.

Der Studiengang wird getragen vom Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB), Leitung: Prof. W. Möhlenbrink, dem Institut für Geodäsie (GIS), Leitung: Prof. E.W. Grafarend, dem Institut für Navigation (INS), Leitung: Prof. A. Kleusberg und dem Institut für Photogrammetrie (ifp), Leitung: Prof. D. Fritsch. Alle vier Institute sind sehr forschungsorientiert und daher stets Anlaufstelle für Wissenschaftler aus aller Welt. Die *Stuttgarter Schule* steht für eine mathematische und bildverarbeitende Geodäsie und Geoinformatik – auf diesen Gebieten wurde internationales Renommée geerntet. Aufgrund der Anzahl der wissenschaftlichen MitarbeiterInnen in den 4 Instituten gehört Stuttgart zu den führenden Standorten in der BRD. Viele abgeschlossene und laufende Forschungsprojekte haben dazu beigetragen, auf aktuellen Gebieten jeweils einen Akzent zu setzen, so z.B. in der Vermessung von freitragenden Bauwerken, der Erdschwerefeldbestimmung, der Transformation geodätischer Bezugssysteme, der Entwicklung von Satellitenpositionierungssystemen, der Entwicklung von Laserscannern sowie den photogrammetrischen Beiträgen zu Bildkorrelation, Aerotriangulation, der Entwicklung von digitalen Bildsensoren und Beiträge in der Geoinformatik. Nachfolgend berichten die vier Institute zu ihren aktuellen Forschungsarbeiten. So konnte in Stuttgart als einzigem Geodäsie-Standort in der BRD über 12 Jahre der Sonderforschungsbereich *Hochgenaue Navigation* (gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft) geführt und erfolgreich abgeschlossen werden (1984-1995).

Das Fachgebiet Geodäsie und Geoinformatik ist interdisziplinär innerhalb der Universität Stuttgart verankert. So gibt es umfangreiche Kooperationen mit anderen Instituten aus den 14 Fakultäten. Im Zuge der Umsetzung des neuen Universitätsgesetzes wird der Studiengang Geodäsie und Geoinformatik ab 1.10.2002 in der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik eine neue Heimat finden. Bisher war dies die Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, wie auch an den meisten anderen Standorten in Deutschland. Durch den Fakultätswechsel wird es ganz sicher einen erneuten Aufwärtstrend für den Studiengang geben, der mittlerweile auch aus dem Ausland sehr stark nachgefragt wird.

Der Studiengang Geodäsie und Geoinformatik stellt ab 1.10.2000 auch den Rektor der Universität Stuttgart. Am 1.3.2000 wurde Prof. D. Fritsch vom Großen Senat für eine Amtszeit von 6 Jahren gewählt. Diese Anerkennung wird sicher ebenso einen Einfluss auf das Fachgebiet haben.

Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB)

Die Schwerpunkte des Instituts für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB) in Lehre und Forschung liegen traditionell auf den Gebieten der Vermessungskunde, der Geodätischen Meßtechnik, der Ingenieurgeodäsie, der Datenverarbeitung und der Informationstechnik. Die laufenden Forschungsarbeiten des Instituts lassen sich zusammenfassen unter dem Schlagwort „Positionsbestimmung und Steuerung von bewegten Objekten im digital beschriebenen Raum“. In den beiden nachstehenden Hauptarbeitsgebieten finden vor allem neuere Themenfelder wie kinematische Meß- und Steuerungssysteme sowie Multi-Sensor-Systeme bzw. Fahrzeugnavigation, Verkehrsleittechnik und Verkehrsinformationssysteme ihren Niederschlag. Eine enge Kooperation mit den Instituten des Bauingenieurwesens haben am IAGB ebenso Tradition wie die praxisbezogene Forschung und die Zusammenarbeit mit der Bau-, Automobil- und Meßgeräteindustrie einschließlich der Automatisierungstechnik.

Das **Arbeitsgebiet Geodätische Meßtechnik** umfaßt Entwurf, Aufbau und Einsatz von Sensorik und Meßwerterfassungssystemen zur Aufnahme von statischen und dynamischen Bestandsinformationen im Bau- und Vermessungswesen. Vorrangiges Interesse gilt dem Einsatz und der Integration unterschiedlicher Sensoren zur Bestimmung von Bewegungen an Bauwerken und für Aufgaben in der Fahrzeugnavigation.

Für die Fertigung von Hochgeschwindigkeitstrassen der Deutschen Bahn wurde ein neues Meß- und Auswertekonzept mittels Tachymetrie entwickelt und in die Praxis umgesetzt. Beim Meßprozeß werden höchste Anforderungen an die Kalibrierung des Tachymetersystems, an die Berücksichtigung der Refraktion und an die Stabilität des Festpunktfeldes gestellt.

Die methodische Entwicklung von Deformationsmodellen hat zum Ziel, das Übertragungsverhalten von Objekten bzgl. äußerer Einflüsse (z.B. Temperatur) zu beschreiben und die Objektreaktion unter Vorgabe deterministischer Stellgrößen zu präzisieren. Hierfür werden in einem dynamischen Kalmanfilteransatz Differentialgleichungen zweiter Ordnung verwendet.

Zur Realisierung einer rechnergesteuerten Betriebsleittechnik wird in Zusammenarbeit mit verschiedenen Nahverkehrsunternehmen die flächendeckende Ortung von Schienenfahrzeugen und Bussen untersucht. Als Sensoren kommen dabei vornehmlich Kreisel und Geschwindigkeitssignale in Verbindung mit „Map-Matching“-Methoden zum Einsatz. GPS oder DGPS werden wegen der eingeschränkten Verfügbarkeit nur innerhalb hybrider Systeme einbezogen.

Im Arbeitsgebiet **Verkehrsinformationstechnik** (Verkehrstelematik) ist das IAGB auf den von Geodäten traditionell besetzten Aufgabenfeldern der Positionsbestimmung, der Zuverlässigkeit der Datenerfassung und Datenverarbeitung sowie des Abbilds der Realität in eine Digitale Karte tätig. Beispielsweise wurde in Untersuchungen zum Verkehrs- und Unfallgeschehen im Stadtverkehr ein erhebliches Potential zur Steigerung der Sicherheit durch Assistenzsysteme, die den Fahrer in Kreuzungssituationen unterstützen, ermittelt. Durch eine intelligente Koppelung von Fahrzeugtechnik und Infrastruktur kann dieses Potential erschlossen werden.

Im Rahmen mehrerer Mobilitäts-Projekte werden in Form einer wissenschaftlichen Begleitforschung und in Zusammenarbeit mit anderen Instituten die Informationsprozesse von Verkehrsdienstleistern untersucht und ein Kriterienkatalog für die Bewertung von Mobilitätsdiensten erstellt. Dabei wurden insbesondere die Verfügbarkeit und Kostenstrukturen digitaler Geodaten untersucht. In einem weiteren Projekt analysiert das Institut dynamische Fahrgemeinschaften hinsichtlich der Wirkungen verschiedene Alternativen verkehrsverringender Mobilitätsdienstleistungen.

Geodätisches Institut

Die Arbeiten am Geodätischen Institut der Universität Stuttgart befassen sich schwerpunktmäßig mit der Bestimmung der Geometrie und des Schwerefeldes der Erde sowie deren zeitlichen Variationen. Darüber hinaus werden Forschungsarbeiten zur lokalen/regionalen Geoidbestimmung, zur Deformationsanalyse der Erdoberfläche, zur Integration dreidimensionaler lokaler und globaler Positionierungssysteme und zur Transformation geodätischer Bezugssysteme durchgeführt. In allen Fällen besteht die Zielsetzung darin, durch Verfeinerung der Modellbildung zu einer Verbesserung der jeweiligen Modellparameter zu gelangen. Die entwickelten Modelle werden sowohl anhand von Simulationsrechnungen als auch an realen Beobachtungsdaten überprüft. Exemplarisch werden nachfolgend einige Forschungsschwerpunkte beschrieben.

Aufgrund der Beobachtung und Analyse der Bahnen der niedrig fliegenden geodätischen Satelliten CHAMP, GRACE und GOCE kann das Erdschwerefeld erstmals mit bisher ungeahnter Auflösung und Genauigkeit bestimmt werden. Die geodätisch-geophysikalischen Anwendungen reichen dabei von der Höhenbestimmung per GPS über die Festlegung eines einheitlichen Höhensystems mit globalem vertikalem Datum bis hin zur Bestimmung der Dichtestruktur und der mechanisch-physikalischen Eigenschaften von Erdinnerem und Erdkruste. Auch können Satellitenephemeriden, z.B. für die Altimetersatelliten, wie sie zur Bestimmung der Meerestopographie und stationärer Ozeanzirkulationen eingesetzt werden, entscheidend verbessert werden.

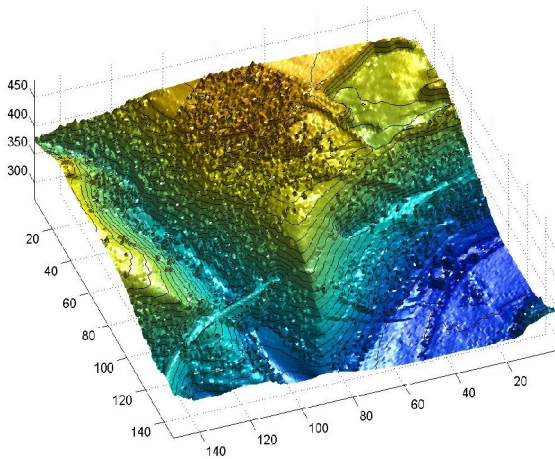
Einen weiteren für Geodäsie und Geodynamik wichtigen Schwerpunkt bilden Untersuchungen von Wavelets, einer vergleichsweise jungen Technik zur Analyse und Interpretation verschiedenster Signaltypen. Im Gegensatz zur Fourier-Analyse haben Wavelets zwei herausragende Eigenschaften: (1) Sie können sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich lokalisieren und es kann (2) der Mallat-Algorithmus zur diskreten Wavelet Transformation numerisch wesentlich effizienter als die FFT eingesetzt werden.

Bei den Arbeiten zur Deformationsanalyse der Erdoberfläche geht es darum, die Standardmethoden auf die wahre Erdoberfläche anstatt auf eine Modellfläche, z.B. eine Projektionsebene oder eine Referenzkugel anzuwenden, da die Deformationstensoren der wahren Randfläche und die mit ihnen verbundenen Invarianten wesentlich für eine aussagekräftige Untersuchung von Deformationen und Bewegungen der Erdoberfläche sind. Hinzu kommt, dass geodätische Schätzwerte/Messwerte als Anfangswerte für geophysikalische Modelle und die Quantifizierung möglicher seismischer Ereignisse an der wahren Erdoberfläche gemessen werden. Schließlich motiviert die Tatsache, dass z.B. Relativbewegungen geodätischer Punktfelder zur Detektion von Deformationen selbst über Kontinente hinweg höchst genau gemessen werden können, die Entwicklung mathematisch-statistischer Verfahren für die Untersuchung von Einflüssen systematischer Fehler auf die einzelnen Komponenten des Deformationstensors sowie die Signifikanz ihrer Detektion.

Die Transformation geodätischer Bezugssysteme, beispielsweise beim Übergang von Gauß-Krüger-Koordinaten im Datum des deutschen Hauptdreiecknetzes auf europäische UTM-Koordinaten im System ETRS89 ist ebenfalls eines der großen Forschungsthemen. Aufgrund der historischen Entwicklung des deutschen Hauptdreiecknetzes, aber auch anderer europäische Netze erster Ordnung, sind oftmals Netzspannungen vorhanden, die bei einer Datumtransformation Berücksichtigung finden müssen. Ansätze zur Lokalisierung/Ausweisung von Homogenitätsgebieten sind mit den aktuellen Untersuchungen zum erweiterten kombinatorischen Gauß-Jacobi-Verfahren bereits erarbeitet worden. Insbesondere für die massenhafte Transformation von Punktfeldern wurden schließlich vereinfachte Algorithmen auf der Basis polynomialer Gleichungssysteme entwickelt, deren Koeffizienten für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland über Sätze von homologen Punkten berechnet werden.

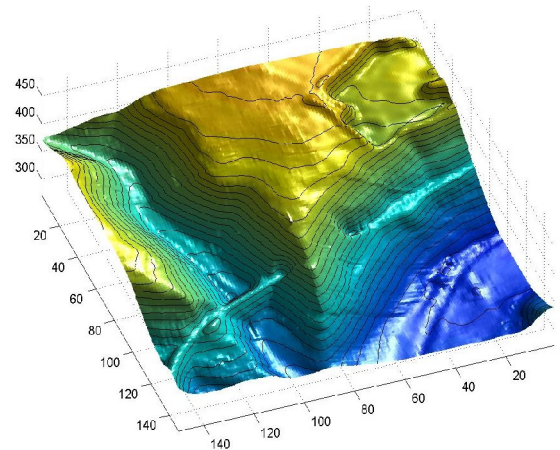
Institut für Navigation

Das Institut für Navigation vertritt an der Universität Stuttgart die Fachgebiete Navigation und Fernerkundung in Forschung und Lehre. Aus den vielfältigen Forschungsarbeiten sei hier beispielhaft ein am Institut entwickeltes System vorgestellt, das Komponenten aus beiden Gebieten vereinigt. Es handelt sich hierbei um das flugzeuggetragene Lasersystem ScaLARS zur Erfassung der Topographie. Das System besteht aus einem Laserkopf, der aus einer Flughöhe von ca. 700m das Gelände in einem Öffnungswinkel bis zu 20° ellipsenförmig abtastet. Aus den gemessenen Laufzeiten der Lasersignale werden nach Kalibration die Entfernungen zwischen Laserkopf und reflektierendem Geländeoberflächenteil abgeleitet. Die Entfernungsmessgenauigkeit liegt je nach Oberflächenbeschaffenheit bei 10-20cm. Die Position und Orientierung des Laserkopfes



wird aus den Messungen eines hochpräzisen integrierten GPS/INS Positionierungs- und Navigationssystem der Fa. Applanix abgeleitet. Dieses System liefert in Echtzeit die Positionsdaten zur Flugführung (Genauigkeit: 1-10m); zur ‚post mission‘ Verarbeitung werden ebenfalls die Rohdaten des GPS/INS Systems gespeichert. Aus diesen Rohdaten wird nach Beendigung des Fluges die genaue Trajektorie und Orientierung des Laserkopfes rekonstruiert. Hierbei werden typischerweise Positionsgenauigkeiten von ca. 5cm und Orientierungs-

genauigkeiten von ca. 0,5 Bogenminuten erreicht. Die verbleibenden Orientierungsungenauigkeiten sind bei einem Öffnungswinkel des Lasers von 5 Bogenminuten dann vernachlässigbar klein. Mit den so berechneten Positionen und Orientierungswinkeln des Laserkopfes wird jeder Laserreflektionspunkt georeferenziert. Das Ergebnis ist dann ein Digitales Oberflächenmodell (DOM), wie es in der linken Abbildung für einen Bereich von 750mx750m in der Nähe von Mühlhausen in Thüringen dargestellt ist; die Höhe ist zur Verdeutlichung farbig kodiert. Man erkennt stark bewegtes und teilweise bewaldetes Gelände. Vom unteren linken Rand zum mittleren rechten Rand durchquert eine Bahnlinie das Gebiet, teilweise über einen Damm und durch einen Tunnel führend. Oben rechts ist ein ausgedehnter Steinbruch erkennbar.



Zur Ableitung eines Digitalen Geländemodells (DGM) sind aus dem Oberflächenmodell nunmehr Bäume, Hecken, Gebäude etc. zu entfernen. Die geschieht mittels geeigneter Filter- und Glättungsalgorithmen, die am Institut für Navigation programmtechnisch aufbereitet wurden. In dem aus dieser Weiterverarbeitung resultierenden DGM (rechtes Bild) erkennt man dann die hohe Auflösung und Detailgenauigkeit der mittels flugzeuggestützter Lasermessungen erfassten Topographie, z.B. in der Geländemorphologie in der Nähe der beiden Tunnelportale.

Institut für Photogrammetrie

Das Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart vertritt Lehre, Forschung und Entwicklung auf den Gebieten *Photogrammetrie und Fernerkundung*, *Sensorintegration*, *Optische Inspektion* und *Geo-Informationssysteme (GIS)*. Die Arbeitsgruppe **Photogrammetrie und Fernerkundung** betreibt intensive Forschungsarbeiten im Bereich der automatischen Auswertung digitaler Luft- und Satellitenbilddaten. Neben geometrisch orientierten Aufgabenstellungen wie der Entwicklung photogrammetrischer Software zur Überprüfung und Auswertung der Kamerageometrie moderner digitaler optischer Sensoren besteht der zweite Hauptaspekt der Forschungen in der automatischen Interpretation und Informationsgewinnung aus Luft- und Satellitenbildern. Beispiele hierfür sind Arbeiten zur automatischen Klassifizierung, das die Erfassung und Aktualisierung von GIS-Datenbeständen mittels Bilddaten realisiert, oder die automatische Erzeugung von virtuellen Stadtmodellen, bei der die digitalen Luftbilder mit anderen Datenquellen wie Distanzdaten aus Laserscanneraufnahmen und existierenden 2D GIS fusioniert werden. Die Verbindung zwischen GIS und Bildanalyse bzw. Fernerkundung sind gegenseitig: GIS-Daten werden aus Bildern erfasst, andererseits können GIS-Daten aber auch als – in der Bildanalyse erforderliche – Modelle dienen. Ein Beispiel hierfür sind die Arbeiten zur Georeferenzierung von SPOT-Bilddaten durch die automatische Lokalisierung existierender ATKIS-Objekte.

Die Themen der Arbeitsgruppe **Sensorintegration** umfassen vor allem den Einsatz von GPS- und INS-Sensoren zur Orientierungsbestimmung digitaler flugzeug- oder satellitengestützter Flächen- und Zeilensensoren. Hier konnte ein Orientierungsprogramm entwickelt werden, das sich im wesentlichen auf die durch die GPS/INS-Integration bestimmten Parameter der äußeren Orientierung stützt, zusätzlich aber auch in der Lage ist, durch die Einbeziehung von Bildrauminformationen nachträglich Fehler der direkt bestimmten Orientierungsparametern zu schätzen und zu verbessern. Damit werden die GPS/INS-Daten zusammen mit den photogrammetrischen Zwangsbedingungen im Rahmen einer erweiterten Bündelblockausgleichung behandelt. Neben diesen eher klassisch photogrammetrisch orientierten Aufgabenstellungen befasst sich ein weiterer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe mit der Echtzeitpositionierung von Personen im Rahmen von ortsbezogenen Anwendungen.

Im Bereich der **Optischen Inspektion** liegt ein Schwerpunkt der Forschung in der Erfassung und Interpretation dichter dreidimensionaler Oberflächen-Daten. Diese Arbeiten wurden bisher vor allem im industriellen Kontext durchgeführt. Hierzu wurde ein eigenes Sensorsystem entwickelt, ein sogenannter Streifenprojektionssensor nach dem codierten Lichtansatz, das in mehreren Aufbauten realisiert wurde. Für dieses System wurde Software entwickelt, die eine Kalibrierung und Genauigkeitsabschätzung der Messungen ermöglicht. Weiterführende Arbeiten beschäftigen sich mit der Verarbeitung dieser Daten. Dies umfasst die Integration mehrerer Datensätze, die Fusion mit Daten anderer Sensoren sowie die Interpretation der Daten. Wichtige Schritte der Interpretation beinhalten die Segmentierung der Daten und die automatisierte Extraktion typischer Flächen.

Auf dem Gebiet der **Geo-Informationssysteme (GIS)** sind insbesondere die Arbeiten der automatischen Zuordnung von Vektordaten sowie die Entwicklung zur automatisierten Nachführung von GIS Datenbeständen aus optischen Daten bzw. Daten flugzeuggetragen Laserscanner zu nennen. In einem weiteren Projekt werden Methoden zur Unterstützung ortsbezogener Anwendungen mit mobilen Nutzern entwickelt. Hier ist vor allem die Verwaltung eines verteilten und dynamischen räumlichen Modells von Interesse, das die reale Welt in digitaler Form abbildet und eine Verknüpfung von raumbezogener Information und Nutzerposition erlaubt. Neuere Arbeiten beziehen sich auf die Verknüpfung von *indoor*- und *outdoor*-Daten für eine umfassende Abbildung von GIS-Objekten.