

Heft 95

Neubiberg, 2018

Festschrift für
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt
zum 65. Geburtstag

Herausgeben von:

Wilhelm Caspary
Hansbert Heister
Uwe G. F. Kleim
Helmut Mayer
Gisela Pietzner

SCHRIFTENREIHE

INSTITUT FÜR GEODÄSIE

der Bundeswehr
Universität  *München*

Festschrift für
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt
zum 65. Geburtstag

Herausgeben von:

Wilhelm Caspary
Hansbert Heister
Uwe G. F. Kleim
Helmut Mayer
Gisela Pietzner

SCHRIFTENREIHE

INSTITUT FÜR GEODÄSIE

der Bundeswehr
Universität  *München*

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

Auflagenhöhe: 50

Hergestellt an der Professur für Visual Computing des Instituts für Angewandte Informatik der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg.

Redaktion:

Dipl.-Ing.(FH) UWE G. F. KLEIM

GISELA PIETZNER

Textverarbeitung, Bildverarbeitung und Layout:

Dipl.-Ing.(FH) UWE G. F. KLEIM

Druck und Bindearbeiten:

Rechenzentrum der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg

Einbanddruck:

Böckmann & Burgstaller GbR, Putzbrunn

Herausgeber der Schriftenreihe:

Institut für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg

Die inhaltliche Verantwortung der einzelnen Beiträge dieser Veröffentlichung liegt bei den jeweiligen Autoren.

Bezugsnachweis:

Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
Institut für Geodäsie
D - 85577 Neubiberg

ISSN 0173 – 1009



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
 <i>CASPARY, Wilhelm</i>	
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt	9
Fachbeiträge	
 <i>BREUNIG, Martin</i>	
Entwicklung mobiler Geodienste – ein Rückblick	15
 <i>HEISTER, Hansbert / HÜMMER, Frank / KANDAVASWIKA, Admire / STRIEGL, Philipp</i>	
Neuere Entwicklungen zur Verlaufsbestimmung von Hausanschlussleitungen und Hauptkanälen	23
 <i>HEUNECKE, Otto</i>	
Spontanprojektion in QGIS	41
 <i>JASNOCH, Uwe</i>	
GIS im Kontext von Save Cities	53
 <i>KARCHER, Andreas</i>	
Eine kleine Geschichte der Middleware	59
 <i>KLEIM, Uwe G. F.</i>	
Die Erstbesteigung des Kamerunberges	69
 <i>KOPPERS, Lothar</i>	
Geoinformationssysteme im politischen Kontext – Versuch eines kritischen Diskurses	85

LECHNER, Ulrike / RUDEL, Steffi

Lokal oder Global?
 Geoinformationen in der IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen –
 Ein Positionspapier 91

MAYER, Helmut

Modelle der realen Welt für die Bildinterpretation 101

MENG, Liqiu

How Maps Serve a Smart City 111

TALHOFER, Václav

Cross Country Movement Solution in the Army of the Czech Republic 121

THIEMANN, Karl-Heinz

Flurbereinigung zur nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung 131

UNGER, Jakob / ROTTENSTEINER, Franz / HEIPKE, Christian

Assigning Tie Points to a Generalised Building Model
 for UAS Image Orientation 143

Anhang

Schriftenverzeichnis Prof. Wolfgang Reinhardt 157

Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie
 der Universität der Bundeswehr München 177

Vorwort

Diese Festschrift ist aus Anlass des 65. Geburtstages von Herrn Professor Dr.-Ing. WOLFGANG REINHARDT entstanden. Sie enthält vierzehn Beiträge von zwanzig Autoren, Kollegen, Freunden und Mitarbeitern, die ihn ein Stück auf seinem wissenschaftlichen Weg begleitet haben – meist verbunden durch das gemeinsame Interesse am Fach Geoinformatik in seinen verschiedenen Ausprägungen.

Der erste Beitrag würdigt Leben und Werk des Jubilars. Die folgenden sind Fachaufsätze, vorzugsweise aus dem Bereich Geoinformatik, aber auch aus anderen Zweigen der Geowissenschaften.

Allen, die diesen Band durch einen schriftlichen Beitrag möglich gemacht haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing.(FH) UWE G. F. KLEIM und Frau GISELA PIETZNER, die die Anregung zu dieser Festschrift gaben und die Redaktion dieses Heftes aus der „*Grünen Reihe*“ – vormals Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation, dem WOLFGANG REINHARDT von 1998 bis Ende 2007 angehörte, nunmehr herausgegeben als Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie – übernahmen.

Neubiberg, im Juni 2018

Wilhelm Caspary

Hansbert Heister

Helmut Mayer

Professor Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war die Digitalisierung des amtlichen Vermessungswerkes in vollem Gang. Parallel dazu wurden digitale Datenbanken für Fahrzeugnavigationssysteme aufgebaut und die Dokumentationen der Versorgungswirtschaft wurden digitalisiert. Durch diesen Übergang von der analogen zur digitalen Informationsspeicherung wurden zahlreiche neue Nutzungen der vorhandenen Informationen möglich, zu deren Realisierung neue Datenmodelle sowie Datenhaltungs- und Datenverarbeitungstechniken zu entwickeln waren. Vor diesem Hintergrund richtete die Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München 1996 für den Studiengang Geodäsie einen neuen Lehrstuhl mit der Widmung Geoinformatik ein, der sich diesem neuen Themenfeld in Lehre und Forschung annehmen sollte.

Seit April 1997 ist WOLFGANG REINHARDT Inhaber dieses Lehrstuhls. Zugleich wurde er an der Leitung der bereits vorher von Prof. CASPARY gegründeten Arbeitsgruppe Geoinformationssysteme (AGIS) beteiligt, die er nach dessen Pensionierung 2002 allein übernahm. Er hat das Fachgebiet Geoinformatik mit Umsicht und großem Engagement in der Fakultät etabliert und vertritt es vorbildlich in Lehre und Forschung. Seine Forschungsleistungen, seine Publikationen und sein internationales Wirken für die Entwicklung des Fachgebietes finden weite Anerkennung. Nach Einstellung des Studienganges Geodäsie wechselte Professor REINHARDT 2008 zur Fakultät Informatik und ist seitdem Mitglied des Institutes für Angewandte Informatik.

WOLFGANG REINHARDT wurde 1953 in Bad Mergentheim, Baden-Württemberg, geboren. Nach dem Besuch von Volks- und Mittelschule in Ochsenfurt machte er eine Lehre zum Bauzeichner. Anschließend erwarb er an der Fachoberschule in Würzburg die fachgebundene Hochschulreife. Nach dem Ableisten der Wehrpflicht 1976/77 studierte er bis 1982 Vermessungswesen an der TU München, wobei er als Vertiefung die Fächer Photogrammetrie und Kartographie wählte.

Diese Spezialisierung war die ideale Vorbereitung für die nachfolgende Tätigkeit, zunächst als freier Mitarbeiter im Ingenieurbüro und danach ab 1984 als Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung seines Mentors Prof. Dr.-Ing. Dr. E. h. HEINRICH EBNER. Forschungsschwerpunkt am Lehrstuhl EBNER war während dieser Zeit der Aufbau digitaler Gelände-



modelle (DGM), wozu neue Verfahren der Datenerfassung, der Datenstrukturierung und Datenspeicherung sowie der Qualitätskontrolle entwickelt werden mussten. Ein Teil dieser zukunftsweisenden Arbeiten mündete 1990 in REINHARDT's Promotion mit dem Thema „*Interaktiver Aufbau digitaler Gelände-modelle an photogrammetrischen Stereosystemen*“.

Die schon sehr frühzeitige Beschäftigung mit der Entwicklung von Geoinformationssystemen (GIS), war 1990 bestimmend für den Berufseinstieg bei der Firma Siemens-Nixdorf-Informationssysteme AG (SNI). WOLFGANG REINHARDT wurde dort zu einem der Wegbereiter der neuen Technologie, deren Nutzung heute in vielen Bereichen von Wirtschaft, Verwaltung und im täglichen Leben selbstverständlich ist. Als Projektleiter Umweltsanwendungen bei SNI war er zuständig für die Integration von GIS und DGM, für die Entwicklung von Werkzeugen für räumliche Analysen und raumbezogene Abfragen sowie für topologische Datenstrukturen und algorithmische Aspekte. 1993 wurde er Produkt-

verantwortlicher SICAD und Hauptgruppenleiter „GIS Architektur“. Zwei Jahre später stieg REINHARDT zum unternehmerisch verantwortlichen Leiter der Produkt-Unit „Land/Rauminformationssysteme“ auf. Während dieser industriellen Tätigkeit pflegte REINHARDT weiterhin den Kontakt mit der TU und betreute eine Reihe von Diplomarbeiten mit aktuellen Themen aus dem Bereich Geoinformationssysteme.

Seit seiner Berufung auf die Professur Geoinformatik hat WOLFGANG REINHARDT eine große Zahl von Forschungsprojekten, oft mit internen und/oder externen Partnern, erfolgreich durchgeführt. In der Mehrheit handelt es sich um eingeworbene Drittmittelprojekte, die häufig einen starken Bezug zu den Ingenieurwissenschaften haben. Als Mittelgeber sind Einrichtungen der europäischen und der deutschen Forschungsförderung, die öffentliche Verwaltung und die Wirtschaft zu nennen. Einen großen Anteil an der Forschung haben Projekte, die vom Amt für militärisches Geowesen beauftragt werden. Dieses Amt benötigt für den Übergang von analogen zu digitalen Informationen spezielle fachgebundene Konzepte und Entwicklungen sowie Beratung für die Mitarbeit bei der Erstellung internationaler Normen für das militärische Geoinformationswesen.

Beispielhaft sollen einige Arbeitsschwerpunkte und größere Projekte von WOLFGANG REINHARDT skizziert werden: Die Sicherung der Qualität der Geodatenbasis und aller Prozesse, die darauf zugreifen, ist immer wieder Gegenstand von umfangreichen Forschungsaufträgen. Hier sind es insbesondere Leitungsbetreiber, die für die Datenerfassung, für Verfahren der Aktualisierung und Methoden der Nutzung Qualitätsmanagementkonzepte entwickeln lassen, die ein zuverlässiges Arbeiten mit den digitalen Netzinformationssystemen sicherstellen. Eine Reihe weiterer Projekte zielt auf die Entwicklung und Erprobung von Methoden zur automatischen Extraktion von Geoobjekten aus Fernerkundungsszenen und photogrammetrischen Aufnahmen, um so die aufwendigen Prozesse der Datengewinnung und der Laufendhaltung der Datenbasis zu beschleunigen. Mit derselben Zielsetzung werden Projekte bearbeitet, die Methoden zur Lösung von Konsistenzkonflikten bei der Übernahme von Daten aus externen Beständen zum Gegenstand haben. Im Rahmen eines von der Industrie vergebenen Projektes wurde eine Datenerfassungseinheit aufgebaut, mit der eine gleisgenaue Ortung von Lokomotiven ermöglicht wird. Hier ging es um eine integrierte Hardware/Software-Lösung. Für die Datenerfassung wurde ein Modul entwickelt, das auf der Basis von Weggeber und Faserkreisel die Bewegungen eines schienengebundenen Fahrzeuges berechnet und seine Position in Echtzeit zur Verfügung stellt. Diese kann sowohl

zum Aufbau eines Gleisinformationssystems als auch zur Steuerung und Überwachung von Schienenfahrzeugbewegungen eingesetzt werden. Eine weitere Projektserie, die ebenfalls Ingenieurwissen mit Informatik verbindet, wurde im Auftrag und in Kooperation mit einem Ingenieurbüro und einem städtischen Wasserentsorger durchgeführt. Hier ging es um die Aufmessung und Dokumentation unterirdischer Rohrleitungen, speziell um Gebäudeentwässerungsanlagen. Als Messeinheit, die geführt von einer „Schiere“ durch die unterirdischen Rohre geringen Durchmessers gezogen wird, wurde ein Modul auf der Basis einer MEMS-IMU entwickelt. Die dreidimensionale Lage der Leitungen wird so ermittelt und anschließend in einem Leitungsinformationssystem dokumentiert. Eine Anzahl weiterer, mit öffentlichen Mitteln geförderter, Projekte, an deren Realisierung REINHARDT beteiligt war, haben die Entwicklung von Maßnahmen zur Förderung der Sicherheit zum Ziel. So das EU-Projekt „*Public Safety & Commercial Info-Mobility Applications & Services in the Mountains*“, das BMBF-Verbundprojekt „*Entwicklung geeigneter Informationssysteme für Frühwarnsysteme*“, das EU-Projekt „*EURO-SUR*“ und das Verbundprojekt „*TranSAFE-Alp*“.

Neben diesen von Dritten finanzierten Projekten bearbeitet WOLFGANG REINHARDT auch zahlreiche Vorhaben der hochschultypischen Grundlagenforschung. Seine Interessen sind auch hier breit gefächert. Als Beispiele seien die Integration von digitalen Geländemodellen in Geoinformationssysteme, die Einbettung von GIS in Client-Server Umgebungen, GIS-Anwendungen über das Internet, räumliche Abfragesprachen, GIS für mobile Dienste, prozessorientiertes Qualitätsmanagement und Standardisierung im Bereich Geoinformationssysteme genannt.

Die Ergebnisse dieser umfangreichen Forschungsaktivitäten sind in ca. 180 wissenschaftlichen Arbeiten, die zum Teil mit Koautoren verfasst wurden, veröffentlicht. Außerdem trat REINHARDT etwa 125mal mit Fachvorträgen im In- und Ausland auf. Er hat sich damit einen ausgezeichneten Ruf als Wissenschaftler und GIS-Experte erworben, dessen konstruktive Mitarbeit als Chair/Cochair verschiedener nationaler und internationaler Konferenzen, als Reviewer mehrerer Fachzeitschriften und in zahlreichen Fachorganisationen, denen er angehört, sehr geschätzt wird. Er ist Mitglied der Association of Geographic Information Laboratories in Europe (AGILE), der Forschungsgemeinschaft Qualität (FQS), der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), des Arbeitskreises Qualitätsmanagement in der Netzdokumentation, des Open Geospatial Consortium (OGC), des wissenschaftlichen Beirates des GeoInfoDienstes der Bundes-

wehr und des Deutschen Alpenvereins, der Abteilung Geoinformatik der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK), des Lenkungsremiums DIN-Nabau (Vermessungswesen, Geoinformation) und des Arbeitskreises Geoinformation/Geodaten des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW).

Besonders hervorzuheben ist seine Initiative zur Schaffung einer Plattform zur Diskussion aktueller Tendenzen der Geoinformatik und zur Fortbildung der im Bereich Geoinformationssysteme tätigen Führungskräfte und Kollegen. Er begründete 1998 die Seminarreihe „GIS im Internet/Intranet“, mit der er ein damals hoch aktuelles Thema aufgriff, dessen heutige Bedeutung für den Einsatz von Geoinformationssystemen damals nur in Ansätzen zu erkennen war. Der schnellen Entwicklung der Geoinformatik immer ein paar Schritte voraus, ist das Seminar, seit 2007 unter dem Titel „GIS und Internet“, zu einem wichtigen Treffpunkt für Wissenschaftler, Entwickler und Praktiker geworden. Im Oktober 2017 fand das 15. Seminar statt, wieder mit einem hochaktuellen Programm, zu dem namhafte Vortragende über den neuesten Stand, über Erfahrungen aus der Praxis und Tendenzen der Entwicklung der Geoinformatik berichtet haben.

Neben seinen erfolgreichen Aktivitäten in der Forschung, der Wissensvermittlung und im Dienst für die Fachgesellschaften, hat Professor REINHARDT auch in den Gremien der Universität wichtige Aufgaben übernommen. Unter den zahlreichen Ämtern innerhalb der Fakultät ist sein Wirken als Dekan der

Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen in der Amtszeit 2002-2004 hervorzuheben. Ein ganz wichtiger Bestandteil der Tätigkeiten von Professor REINHARDT ist sein vorbildlicher Einsatz für die universitäre Lehre im Studienfach Geoinformatik. Seine Lehrveranstaltungen, zunächst im Studiengang Geodäsie und nach dessen Schließung in den Studiengängen Informatik, Wirtschaftsinformatik und Bauingenieurwesen sind stets auf dem neusten Stand der Wissenschaft und bei den Studierenden sehr geschätzt. Außer für die Lehre an der eigenen Universität engagiert er sich auch generell für gute Lehrmodule für das Fach Geoinformatik und gibt im Rahmen des „Erasmus Programms“ der EU Kurse an der Czech University of Defense in Brno. Sein besonderes Interesse gilt dem Einsatz neuer Medien in der Lehre. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München wurden eine „Projektumgebung Geoinformation“ und die Lernmodule „Geodaten und Geoinformation“ und „Normung“ entwickelt. Für die Virtuelle Hochschule Bayern wurde ein GIS-Lernprogramm erarbeitet, dessen Anwendung im Fernstudium betreut wird. Außerdem war REINHARDT Partner in den EU-Projekten „edugi-Education in Geographic Information e-Learning“, und „GI-N2K: Towards a More Demand-driven Geospatial Workforce Education/Training System“.

Ganz besonders am Herzen liegt Professor REINHARDT die Förderung der Wissenschaftlichen Mitarbeiter, die in der Arbeitsgruppe Geoinformations-





systeme (AGIS) zusammenarbeiten. Die AGIS, zum größten Teil aus Doktoranden bestehend, trägt die Hauptlast der Arbeit an den Forschungsprojekten. In regelmäßigen Besprechungen und Kolloquien wird über den Stand der Projekte berichtet und diskutiert. Und es werden Festlegungen für den Fortgang der Arbeiten getroffen und Ideen für neue Forschungsanträge entwickelt. In individuellen Betreuungsgesprächen berichten die Doktoranden über den Fortschritt ihrer Arbeit an der Dissertation und stellen ihre Pläne für die nächsten Schritte zur Diskussion. Ein jährlicher Höhepunkt ist die Klausurtagung. Sie dient der Förderung des Zusammenhaltes der AGIS und der Reflektion über die Aktivitäten des vergangenen Jahres sowie der Entwicklung neuer Projektideen. Die Veranstaltung findet jedes Jahr an einem anderen Ort in Südtirol statt. An den Vormittagen

wird eine stramme Wanderung durchgeführt, die Nachmittage und Abende dienen der intensiven Facharbeit. Der Erfolg dieser Mitarbeiterförderung zeigt sich in 16 abgeschlossenen Dissertationen von Mitarbeitern der AGIS, drei weitere sind in Vorbereitung. Außerdem hat Professor REINHARDT vier externe Promotionen mitbetreut.

An seinem 65. Geburtstag kann man Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG REINHARDT zu seinen herausragenden Beiträgen zur Entwicklung der Geoinformatik in Wissenschaft und Praxis nur gratulieren. Und es sei der Wunsch angeschlossen, dass ihm seine Schaffenskraft noch viele Jahre erhalten bleibt.

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. WILHELM CASPARY

E-Mail: u.w.caspary@t-online.de

Fachbeiträge

Entwicklung mobiler Geodienste – ein Rückblick*

Zusammenfassung

Eines vorab: Der Jubilar war lange Jahre im von DFG und BMBF initiierten GEOTECHNOLOGIEN Sonderprogramm aktiv, und ohne ihn wäre so manches Verbundprojekt nicht zustande gekommen. Kennenlernen durfte ich ihn im Rahmen des von 2002 bis 2007 vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Weiterentwicklung von Geodiensten“ innerhalb des Geotechnologien-Forschungsthemas „Informationssysteme im Erdmanagement“, über das hier berichtet werden soll. Die Verbindung des Internets mit mobilen Kommunikationstechnologien eröffnete damals erstmalig die Perspektive ortsunabhängiger Zugriffe auf verteilt erhobene und verwaltete Geodatenbestände. Es bestand Hoffnung, dass moderne Geodienste zur schnellen Verfügbarkeit und steigenden Qualität von Geoinformationen beitragen werden. Damals bereiteten insbesondere die geringe Leistungsfähigkeit und Heterogenität der noch nicht standardisierten mobilen Endgeräte große Probleme.

Summary

One thing should be stated in advance: the Jubilee was active within the GEOTECHNOLOGIEN special program initiated by the DFG and BMBF for many years. Without him many a project would not have been even started. I had the honour to get to know him in the context of the BMBF's 2002-2007 joint project „Advancement of Geoservices“ within the geotechnologies research topic „Information Systems in Earth Management“. The connection of the Internet with mobile communication technologies at that time opened up the prospect of location-independent access to distributedly collected and managed geospatial data. There was hope that modern geoservices would contribute to fast accessibility and growing quality of geoinformation. At that time, in particular, the low performance and heterogeneity of the still non-standardized mobile devices caused big problems.

1. Einleitung

Wie war die Sichtweise auf mobile Geodienste vor 15 Jahren? Was hat sich inzwischen verändert? Ohne Zweifel bot die Verbindung des Internets mit mobilen Geodiensten damals erstmalig die Perspektive ortsunabhängiger Zugriffe auf verteilt erhobene und verwaltete Geodatenbestände. Moderne Geodienste haben inzwischen im Rahmen von Geodateninfrastrukturen zu einer schnellen Verfügbarkeit von Geoinformation beigetragen. Ob dies zu einer steigenden Qualität von Informationen über unsere Umwelt beigetragen hat, kann nur im Einzelfall entschieden werden. Neben dem wichtigen Aspekt der Datenverwaltung für Geodienste hat sich auch die mobile Erfassung und Visualisierung mehrdimensionaler Geodaten schnell weiterentwickelt. Außerdem ist die Leistungsfähigkeit der mobilen Endgeräte rasend schnell gestiegen und steigt weiter. Das oben genannte Projekt im Rahmen des BMBF-Sonderprogramms „Geotechnologien“ [BMBF, 2001; BMBF/DFG, 2014] kann als Anfangspunkt dieser Entwicklung gesehen werden. Die Projektpartner aus Vechta (Gruppe MARTIN

BREUNIG), Heidelberg (Gruppe ALEXANDER ZIPF), München (Gruppe WOLFGANG REINHARDT) und Karlsruhe (Gruppe JOCHEN WIESEL) ergänzten sich hierbei in ihrer verschiedenen Expertise auf dem Gebiet der Erfassung, Verwaltung, Nutzung und Visualisierung von Geodaten.

2. Zielsetzung und Konzeption

Ziel des im Oktober 2002 gestarteten Projektes war die Entwicklung eines Gesamtkonzeptes für die Erfassung, Verwaltung, Nutzung und Visualisierung von Geodaten für moderne mobile Geodienste. In Komponenten eines Prototypsystems sollte die Realisierbarkeit und Akzeptanz der verwendeten Methodik gezeigt werden.

Im Projekt waren verschiedene Aspekte der Geodatenverarbeitung zu untersuchen: zum einen sollten es zentrale Servereinheiten ermöglichen, auf Geodaten verschiedenster Herkunft zuzugreifen. Diese sollten komponentenbasiert realisiert werden. Hierbei sollten die Daten über standardisierte Geodienste aus heterogenen Datenbeständen unter anderem

* Das diesem Artikel zugrundeliegende Vorhaben „Weiterentwicklung von Geodiensten“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Geotechnologien-Programms unter den Förderkennzeichen 03F0373B et al. gefördert.

in Form von einzelnen Objekten den mobilen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden. Durch die Anbindung von externen Sensoren und Messgeräten an die mobile Einheit sollte es ermöglicht werden, die übertragenen Geodaten direkt vor Ort zu nutzen. Hierbei sollten dem Benutzer an die vorhandene Objektstruktur angepasste Funktionalitäten zur Verfügung gestellt werden. Der objektbasierte Ansatz stand also im Mittelpunkt der Betrachtungsweise. Die Funktionen sollten es dem Anwender erstmalig bereits im Außendienst ermöglichen, Geoobjekte zu manipulieren, bei Bedarf neu zu erfassen und an die Servereinheit zu übermitteln, um sie dort in die entsprechenden Geodatenbestände einzufügen. Weiterhin wurden für die Visualisierung von Datenbank-Abfrageergebnissen bereits erste Augmented-Reality-Komponenten (AR) berücksichtigt. Es wurde sogar schon über die mobile Erfassung von räumlichen Objekten über AR im Feld nachgedacht, wo es sich lohnt, nicht Sichtbares (z.B. geologische Strukturen, Bodenqualität, DGM, Planungsvorhaben, rechtliche Grenzen, Leitungen im Untergrund etc.) sichtbar zu machen.

Die *Gesamtarchitektur* wurde dabei von den Projektpartnern wie folgt aufgeteilt:

- 1) Entwicklung webfähiger GIS-Komponenten für den Zugriff auf raum-zeitliche Objekte in Geodatenbank-Diensten (Gruppe BREUNIG);
- 2) Mobile Erfassung, Aktualisierung, Nutzung/Analyse und Visualisierung von Geodaten (Gruppen ZIPF und REINHARDT);
- 3) Online-Darstellung, Bearbeitung und Erfassung von 3D-Datenbeständen auf einem mobilen Endgerät unter Einsatz von „Augmented Reality“ (Gruppe WIESEL);
- 4) Definition von standardisierten Schnittstellen für Geodienste (Gruppe REINHARDT).

Bei der Entwicklung wurde besonderes Augenmerk auf methodische Untersuchungen gelegt, die dazu dienen sollten, die neuen Technologien optimal für z.T. ebenfalls neu zu entwickelnde Arbeitsabläufe zu nutzen. Als *Anwendungsszenarien* hatte man beispielsweise im Blickfeld:

- Die Übertragung von aktuellen Messwerten in entfernte Datenbanken zur direkten Nutzbarmachung für andere Anwender, die direkte Weiterverarbeitung neuer Messwerte und die Nutzung der Ergebnisse dieser Datenprozessierung für die Feldarbeit. Der wesentliche Vorteil besteht also darin, dass hoch aktuelle Daten jederzeit zur Verfügung stehen und im Feld direkt abgerufen werden können.
- In der umgekehrten Richtung stehen dem Anwender im freien Feld eine Vielzahl von Daten und Informationen zur Verfügung. Er ist nicht

gezwungen, alle eventuell notwendigen Datensätze mit ins Feld zu nehmen, sondern kann vor Ort entscheiden, welche Daten er benötigt. Neu aufgenommene Datensätze können mit weiteren, auf verschiedenen Datenbanken vorhandenen Informationen verschnitten werden und die Ergebnisse direkt in die weitere Messpunktwahl mit einfließen, ohne dass der Erfassungsvorgang unterbrochen werden müsste.

- Die Integration der zu entwickelnden Komponenten in eine Geodateninfrastruktur: dadurch können vor Ort zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt werden, ohne dass deren genaue Herkunft im Voraus bekannt wäre. Ein Anwender bei der geologischen Vermessung, der aufgrund einer äußerst komplexen Geländemorphologie oder fehlender Geländeaufschlüsse Schwierigkeiten hat, die genaue Lage und Ausprägung von einzelnen Schichten zu erfassen, kann versuchen, durch die Suche auf Katalog-Servern weitere Informationen über das Gelände zu erhalten. Dies geschieht etwa in Form von Satellitenbildern, deren Mitnahme sich einerseits aufgrund der immensen Größe bei leistungsschwächeren mobilen Geräten verbietet, die aber andererseits nicht auf eigenen Datenbanken zur Verfügung stehen und von anderen Anbietern zugreifbar gemacht wurden. Im Bedarfsfall sollte der Anwender seine automatisch erfasste Position gegen einen spezialisierten Dienst schicken, der aus den Datenbanken die entsprechenden Informationen und Kartenausschnitte zusammenstellt und an den Client überträgt.

3. Erwartungen von außen

Die Initiierung des hier vorgestellten Verbundprojektes fiel in eine Zeit, in der es noch kaum Softwaresysteme oder Anwendungen gab, welche verteilte und heterogene Daten zusammenbringen und überlagern konnten, um damit weiterzuarbeiten. Auch existierten noch keine Möglichkeiten, Modifikationen an den überlagerten Datenbeständen vorzunehmen und diese konsistent in die einzelnen Datenbanken aufzunehmen.

Erstmalig hat sich damals in der Bundesrepublik Deutschland die Politik mit dem Thema der Geoinformation ausführlich beschäftigt, wie aus einer Anfrage von Abgeordneten des Deutschen Bundestages vom 12. April 2000 hervorgeht [*DEUTSCHER BUNDESTAG, 2000*]. Die Wirtschaft maß von dieser Zeit ab diesem Thema ebenfalls große Bedeutung bei, indem sie bedeutende Summen in die Standardisierung im Rahmen von ISO- und OGC-Initiativen [*OGC, 2000*] investierte.

Die im Verbundprojekt geplante Entwicklung neuer Konzepte und Techniken zur Verwaltung raum- und zeitbezogener Objekte für mobile Geodienste war z.T. wegweisend für andere Anwendungsgebiete (z.B. Life Sciences, Bioinformatik oder Location Based Services [CASPARY *et al.*, 2000; REINHARDT, 2001; BREUNIG/BÄR, 2002]).

Durch die schnelle Verfügbarkeit und steigende Qualität von Informationen über unsere Umwelt konnten moderne Geodienste einen Beitrag leisten bei der Bewältigung gesellschaftlicher Aufgaben wie dem Krisenmanagement. Daher wurde darauf geachtet, dass die im Verbundprojekt entwickelte neue Technologie zur Nutzung mobiler Geodienste übertragbar ist auf allgemeine internetbasierte Dienste.

4. Beitrag der Teilprojekte

4.1 Teilprojekt „Entwicklung von Komponenten-Software für den internet-basierten Zugriff auf Geodatenbank-Dienste“

Das am Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung (FZG) der Hochschule Vechta angesiedelte Teilprojekt (Gruppe BREUNIG) sollte einen Beitrag zur Entwicklung neuartiger komponentenbasierter [SZYPSKI, 1998] und mobiler Geoinformationssysteme leisten. Durch den Einsatz wiederverwendbarer Datenbank-Software [SZYPSKI, 1998; DITTRICH/GEPPELT, 2001] sollte es dem Nutzer ermöglicht werden, sich nach dem „Baukastenprinzip“ für eine vorgegebene Anwendungsklasse – ähnlich der Vorgehensweise eines CASE-Tools – seinen eigenen Geodienst aus vorgefertigten Komponenten „zusammenzustecken“, d.h. die jeweils notwendige Funktionalität, z.B. als benutzerdefinierte Datentypen oder Zugriffsmethoden eines Service-Frameworks, ähnlich wie bei einem Geo-Toolkit [BALOVNEV *et al.*, 1997], auszuwählen. Dadurch sollte eine der bisherigen Schwächen von Geoinformationssystemen, ihre geschlossene Systemarchitektur mit dem damit verbundenen erschwerten Zugriff auf ihre Daten und Operationen von externen Softwaresystemen aus, beseitigt werden (offengelegte Schnittstellen). Von zentraler Bedeutung bei der Entwicklung dieser neuen Generation von Geodiensten war der effiziente räumliche und zeitliche Zugriff auf Geodaten. Im Projekt sollten daher die Datenbankunterstützung für raum- und zeitbezogene Objekte, basierend auf vorherigen Arbeiten (s. SELLIS [1999]), sowie der effiziente Zugriff auf Geodatenbank-Dienste über das WWW untersucht werden. Es ging hierbei sowohl um die Repräsentation als auch um die effiziente Verwaltung statischer und in der Zeit veränderlicher Geo-Objekte in einer Da-

tenbank. Eine möglichst einfache Form der Bedienung durch den Nutzer (Plug-in-Technologie) sollte die Akzeptanz der entwickelten Software sicherstellen. Schließlich war in enger Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern die Überführung einer Menge ausgewählter Operationen in den Prototypen eines plattformunabhängigen mobilen Geodienstes, beispielsweise für einen Handheld-Client, vorgesehen.

Zielsetzung und Konzeption

Die Ziele des Teilprojektes lassen sich in drei Schritten formulieren:

- 1) Konzeption zur Verwaltung raum-zeitlicher Objekte in Client/Server-Architekturen für (mobile) Geodatenbank-Dienste:
Solche in Raum und Zeit variablen Objekte konnten bisher nicht effizient in einer Datenbank verwaltet werden. Es war daher insbesondere die Repräsentation und das Retrieval dieser Objekte in Geodatenbanken unter Einbeziehung bisheriger Arbeiten [SELLIS, 1999; GÜTING *et al.*, 2000] zu untersuchen. Ferner war die Verteilung von Funktionalitäten für höherwertige Datenbank-Abfragen auf den Client bzw. den Server zu testen.
- 2) Entwicklung von Komponenten-Software für den Zugriff auf Geodatenbank-Dienste:
Datenbanksysteme spielten eine zentrale Rolle bei der Entwicklung neuartiger Geodienste. Der effiziente Zugriff auf raum-zeitliche Datenbanken aus dem Internet und die Filterung von Geodaten für mobile Geodienste waren jedoch noch Gegenstand der Forschung. Beispielsweise wurden einzelne Funktionen zur Verschneidung geometrischer 2D- und 3D-Objekte entwickelt und zu einem Dienst zusammengefasst, der bausteinartig mit anderen Diensten zu einem Geodienst „zusammengesteckt“ werden konnte.
- 3) Evaluierung der Konzepte aus 1) und 2) in einer konkreten Anwendung:
Die im Teilprojekt entwickelte Software wurde anhand einer geeigneten Anwendung aus dem Bereich der Geologie evaluiert. Es wurde erwartet, dass so neue Anstöße für die Entwicklung von mobilen Diensten auch anderer Anwendungsgebiete innerhalb und außerhalb der Geowissenschaften (z.B. Geomatik und Bioinformatik) gegeben werden können.

Methodisch wurde einer der Hauptgedanken objektorientierter Softwaretechnologie, die Wiederverwendbarkeit geospezifischer Datenbank-Komponenten [DITTRICH/GEPPELT, 2001] für die Entwicklung neuer Geodienste für den internetbasierten Datenbankzugriff auf raum- und zeitbezogene Objekte ge-

nutzt. Dabei wurden in einer Schichtenarchitektur sowohl weitgehend anwendungsunabhängige Datenbank-Basisbausteine als auch für räumliche Anwendungsklassen zugeschnittene spezifische Bausteine entwickelt. Solche Datenbank-Bausteine konnten z. B. zur Unterstützung der Formulierung von Datenbank-Abfragen oder zur Visualisierung der Abfrageergebnisse genutzt werden. Es wurde Komponenten-Software [SZYPERSKI, 1998] mit objektorientierter Datenbanktechnologie kombiniert und für die besonderen Anforderungen der Geowissenschaften mit ihrer inhärent raum- und zeitbezogenen Datenverarbeitung erweitert bzw. angepasst.

4.2 Teilprojekt „Entwicklung der mobilen Komponente und von Schnittstellen zu Geodiensten“

Im Rahmen dieses bei der AGIS der Universität der Bundeswehr München (Gruppe REINHARDT) und der European Media Laboratory GmbH (EML) in Heidelberg (Gruppe ZIPF) angesiedelten Teilprojektes wurde ein Konzept für eine mobile Komponente zur Visualisierung und Verarbeitung von Geodaten erstellt. Hierbei wurden besonders die neuen Möglichkeiten, welche sich durch einen Online-Zugriff auf heterogene Datenbestände ergeben, untersucht. Des Weiteren sollten hierfür entsprechende Schnittstellen spezifiziert werden, wobei aktuelle internationale Standards (OGC) zu berücksichtigen waren. Weiterhin sollte ein Datenmanagementkonzept erstellt werden, welches die Datenkonsistenz bei der Datenkommunikation zwischen Server und mobilem Endgerät sicherstellt. In der Konzeptphase wurden unterschiedliche Architekturen für das mobile Endgerät untersucht. Hierbei sollte besonders die Möglichkeit der systemunterstützten Datenerfassung berücksichtigt sowie ein Konzept für eine optimale Client-Server-Architektur für mobile Geo-Applikationen erstellt werden. Die in der Konzeptionsphase erarbeiteten Ergebnisse flossen direkt in die Entwicklung des Prototypen ein.

Zielsetzung und Konzeption

Zu Projektbeginn ließen sich für dieses Teilprojekt sechs Ziele auflisten:

- 1) Methodische Untersuchungen:
Der Wechsel von heute üblichen mobilen Geoinformationssystemen hin zur mobilen Online-Datenerfassung im Felde warf eine Reihe wissenschaftlicher Fragestellungen auf, die näher untersucht wurden.
Zunächst war zu klären, mit welchen Methoden heterogene Geodatenbestände mobil analysiert und verändert werden können. Es wurden Lösungsstrategien erarbeitet, wie Konflikte hin-

sichtlich der Datenkonsistenz gelöst werden können.

Ausgehend von den bereits verfügbaren und in Zukunft zu erwartenden mobilen Datenübertragungsstandards war zu untersuchen, inwieweit die Leistungsfähigkeit des Systems in Abhängigkeit der Übertragungsleistung optimiert werden kann.

Innerhalb der neu zu erarbeitenden Arbeitsabläufe sollte ein Qualitätsmanagement integriert werden. Dies schließt sowohl die Erfassung von Qualitätsdaten bei der Datenerfassung als auch eine spätere Überprüfung durch eine Kontrollinstanz ein.

- 2) Definition von standardisierten Schnittstellen:
Die damals schon verabschiedeten bzw. in Bearbeitung befindenen Spezifikationen des Open GIS Konsortiums (OGC) zum Datenzugriff und -management (Data Services: Feature Service und Coverage Service), zur Recherche von Geodaten (Catalog Service), zum Datenaustauschformat (GML) und zur Visualisierung von Geodaten (Mapping Service) berücksichtigten die speziellen Anforderungen mobiler Clients bisher nicht, wie etwa die optimale Bereitstellung von Informationen bei geringen Übertragungsraten. Sie wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens diesbezüglich weiterentwickelt. Die bei der Entwicklung von Protokollen und Schnittstellen gemachten Erfahrungen sollten direkt in den Standardisierungsprozess bei OGC zurückfließen.

Daneben ist hier auch die Thematik der differentiellen Fortführung von Geodatenbanken aufzugreifen, d. h. die standardisierten Schnittstellen waren so zu gestalten, dass auf der Granularität von Objekten Änderungen (Einfügen, Löschen, ...) in der Datenbank vorgenommen werden können.

Zusätzlich waren die in den damals aktuellen vom OpenGIS Konsortium veranstalteten LBS-testbedServices (Location Services) sowie *Location Application Servers* und *Location Data Servers* bereitgestellten Dienste auf ihre praktische Nutzbarkeit im Bereich wissenschaftlicher Geo-Fragestellungen kritisch zu prüfen und weiterzuentwickeln.

- 3) Gesicherte Datenübertragung:
Entscheidend beim Einsatz mobiler Datenmanagementsysteme ist die Gewährleistung der Datenkonsistenz. Einmal aufgenommene Daten müssen bis zum Ende der Datenübertragung auf dem Client konsistent vorgehalten werden, damit auch im Falle eines Verbindungsabbruchs die Übertragung nicht verlustbehaftet ist. Im Rahmen des Verbundprojektes wurden daher

Verfahren und Methoden entwickelt, welche die Konsistenz der Daten im Falle nicht stabiler Verbindungen sicherstellen. Dabei wurde die Funktionsweise unabhängig vom darunter liegenden Übertragungsprotokoll, das entweder leitungsbasiert, wie im Falle GSM und HSCSD, oder paketbasiert, wie bei GPRS und UMTS, geachtet.

4) Konzeption des Clients und der Client-Server-Architektur:

Während der Konzeptphase wurden verschiedene mögliche Architekturen analysiert. Es sollte untersucht werden, welche Funktionalitäten auf dem mobilen Endgerät benötigt werden (Datenerfassung, Objekterzeugung usw.) und welche Anforderungen somit an Systemarchitektur und Hardware gestellt werden.

Die Erfassung des Datenmaterials im freien Feld erfolgte unter Nutzung von Messgeräten mit digitalem Ausgang wie auch mit manuell auszuwertenden Messinstrumenten. Das manuelle Auswerten wird durch die automatisch generierten graphischen Oberflächen auf den mobilen Endgeräten unterstützt.

Als mögliche Sensoren kamen beispielsweise GPS-Empfänger, Tachymeter, Digitalkameras, Seismographen usw. in Frage. Dabei sollten die erfassten Daten sofort der Anwendung zur Verfügung stehen. Auf bisher übliche Zwischenschritte wie z.B. Konvertierung proprietärer Messdatenformate wurde verzichtet.

Der erfolgreiche Einsatz mobiler Erfassungssysteme in einer Client-Server Architektur hängt im Wesentlichen von zwei Komponenten ab, zum einen von der eigentlichen Mobilfunkverbindung, zum anderen von der Leistungsfähigkeit der mobilen Geräte. Dazu waren zunächst Voruntersuchungen notwendig, in denen insbesondere die Übertragungskapazität und -stabilität im Gelände ermittelt wurde. Die Schnittstellen und Übertragungsprotokolle sowie die Verteilung der Funktionalitäten auf Client und Server bauten auf den zuvor gemachten Erfahrungen auf. Ziel war es, das Gesamtsystem auf eine maximale Performanz hin zu optimieren. Die Verteilung der Funktionalitäten wurde auf die Leistungsfähigkeit der mobilen Komponenten abgestimmt. Die bei der prototypischen Entwicklung gemachten Erfahrungen flossen unmittelbar in die Spezifikation von Schnittstellen und Protokollen ein.

5) Systemunterstützte Datenerfassung:

Der lesende wie auch schreibende Zugriff auf entfernte heterogene Datenbanken wurde durch von Applikationsservern zur Verfügung gestellt-

ten Anwendungen vereinfacht. Bei der „Vor-Ort-Pflege“ bereits bestehender Daten wurde aus den Metadaten die Datenstruktur ausgelesen und eine entsprechende Oberfläche für die aufzunehmenden Attributdaten automatisch erstellt. Somit wurde zum einen gewährleistet, dass alle relevanten Attribute gepflegt werden, zum anderen kann automatisch eine erste Qualitätskontrolle stattfinden. Die dazu notwendigen Informationen bezog die serverseitige Applikation aus den Metadaten des jeweiligen Datensatzes.

Zur weiteren Unterstützung der Datenaufnahme im Gelände sowie zur Qualitätssicherung wurden darüber hinaus die folgenden Dienste entwickelt: Generierung von optimalen Messgittern für spezifische Anwendungen, die dem Anwender im freien Feld optimierte Messpunkte vorschlagen. Interpolationsdienste, die bereits vorhandene Datensätze auswerten und dem Anwender ein weiteres Instrument an die Hand geben, Messpunkte optimal zu platzieren. Qualitätssicherungsdienste, die aufgrund von zusätzlichen, auf dem Server hinterlegten Daten (z.B. DGMs) den Anwender auf vermeintliche Problemzonen aufmerksam machen, wenn etwa die Erfassung der gegenwärtigen Position mittels GPS durch Abschattung nicht mehr im notwendigen Qualitätsrahmen gewährleistet ist.

In allen Fällen wurde möglichst viel Funktionalität auf den Server verlegt, um die Anforderungen an den Client so gering wie möglich zu halten. Dabei wurde jedoch die dazu notwendige Übertragungskapazität mit berücksichtigt.

6) Prototypentwicklung und Felduntersuchung:

Die erarbeiteten Konzepte und Architekturen wurden in Zusammenarbeit mit der European Media Laboratory GmbH in Prototypen umgesetzt und erprobt. Der Prototyp sollte ein Maß für die Leistungsfähigkeit der zu wählenden Technologien und Architekturen sowie deren technische Umsetzungen liefern und die praktische Tauglichkeit des Systems nachweisen.

4.3 Teilprojekt „Mobile Augmented Reality GIS-Client“

Bei diesem am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe (Gruppe WIESEL) angesiedelten Projekt wurde ein mobiler GIS-Client zum Erfassen und Updaten von 3D-Daten auf der Basis von Augmented Reality (AR)-Techniken [AFSHAR, 1997] entwickelt. Die verwendeten AR-Techniken verbesserten dabei die Qualität und Produktivität von GIS-Clients, indem sie den vorhandenen Datenbestand in der realen Umgebung in das Gesichtsfeld des Nutzers einblenden.

Zielsetzung und Konzeption

Der mobile Betrieb von Datenendgeräten war damals schon mit relativ geringen Bandbreiten (GSM, HSCD, GPRS bis zu ca. 48 kb/s) tägliche Praxis, zukünftige Kommunikationsnetze im Weitverkehr (UMTS) werden im mobilen Betrieb einige Hundert kb/s an Übertragungsleistung zulassen und werden deshalb auch für anspruchsvollere Multimediaanwendungen in Echtzeit geeignet sein.

Ziel des Teilprojektes war, Methoden der Augmented Reality (AR), wie sie z.B. im CAD, der Geräewartung [MÜLLER, 1999] und GIS [AFSHAR, 1997] beschrieben werden, zur Unterstützung und Verbesserung der 3D-Datenerfassung und des Update von 3D-Datenbeständen zu verwenden. Aus den zu bearbeitenden Aufgaben ließen sich sechs Ziele unterscheiden:

- 1) Auswahl der erforderlichen Hard- und Software und Evaluierung technischer Methoden für die 3D-Projektion im mobilen Betrieb. Entwurf und prototypische Realisierung einer mehrschichtigen Softwarearchitektur unter besonderer Berücksichtigung der beschränkten Ressourcen (Rechengeschwindigkeit, Speicher, Kommunikationskapazität).
- 2) Orientierung und Navigation des Betrachtungs- und Erfassungssystems im Raum mit DGPS und INS. Untersuchung von Methoden zur Stabilisierung der Aufnahmeplattform durch Einbeziehen von Features im Raum (z.B. Referenzpunkte).
- 3) Entwicklung und Bewertung von Messverfahren in der mobilen Umgebung – welche Methoden sind wirtschaftlich und präzise genug (z.B. Laserscanner, digitale Kameras, Rangefinder).
- 4) Entwicklung eines Interface zum lesenden und schreibenden Zugriff auf die 3D-Geodatenbank, das auch in einer instabilen und relativ langsamen Kommunikationsumgebung zuverlässig funktioniert. Anpassung und Test der in der Arbeitsgruppe entwickelten Protokolle.
- 5) Visualisierung in der AR-Umgebung. Übertragung von kartographischen Konzepten (2D) in die 3D-Welt (was muss wie visualisiert werden, wie wirken sich die Darstellungstechniken auf die Lesbarkeit aus, wie muss abstrahiert werden?). Eye-Tracking, um virtuelles 3D-Bild mit der Realität zu überlagern. Welche User-Interfaces zur Steuerung des Systems sind möglich und bedienbar?
- 6) Erprobung der entwickelten Techniken im Zusammenspiel im gemeinsamen mobilen Testbed (2D Clients, Räumliche Datenservices) an ausgewählten Fallbeispielen im vorhandenen WLAN der Universität Karlsruhe.

5. Mobile Geodienste – gestern, heute und morgen

Vor 15 Jahren war die Forschung zu recht der Überzeugung, dass neuartige, mobil verfügbare Geodienste den Geowissenschaftlern in Zukunft helfen könnten eine ihrer Visionen zu verwirklichen: Die Erfassung, Modifikation und Visualisierung unterirdischer Planungsvorhaben oder geologischer Formationen direkt im Gelände, unterstützt durch ein leistungsfähiges Geodatenbanksystem und moderne Augmented Reality Methoden. Oder übertragen auf die Lehre: Die anschauliche Erklärung der Folgen von Wechselwirkungen makroskaliger geologischer Prozesse in abgegrenzten Gebieten für Lehrzwecke, um weitere Erkenntnisse aus der Synopse der über- und unterirdischen Beobachtungen zu gewinnen.

Heute ist der ubiquitäre Zugriff auf geo-referenzierte Daten selbstverständlich geworden für alle Nutzer von Smartphones, also nicht nur für Spezialisten aus den Geowissenschaften oder deren Umfeld. Unzählige Dienste unter Berücksichtigung der GPS-Koordinaten des aktuellen Standortes des Nutzers („Geodienste“) sind als App verfügbar. Auch bei der 3D-Visualisierung auf mobilen Endgeräten wurden große Fortschritte gemacht. Es scheint jedoch, dass für spezialisierte Anwendungen von Experten, die komplexe 3D-Methoden beispielsweise in Kombination von Datenbank- und AR-Technologie benötigen, weiterhin starker Forschungsbedarf besteht. Anspruchsvolle Anwendungen sind hier sowohl in der natürlichen – z.B. Geologie – als auch in der gebauten Umwelt – z.B. 3D Stadt- und Infrastrukturmodelle – zu finden.

Literatur / Quellen

- AFSHAR, Mohamad [1997]: Mapping the Real World for Virtual and Augmented Reality. – In: BATES, John / BENZ, Hartmut / COOK, Nick / MARANGOZOV, Vladimir (Hrsg.): Report of the 4th CaberNet Radicals Workshop, 17-20 September 1997, Rethimnon, Crete.
<http://research.cs.ncl.ac.uk/cabernet/www.laas.research.ec.org/cabernet/workshops/radicals/1997/index.html#papers> – letzter Aufruf: 01.12.2017
- BALOVNEV, Oleg / BREUNIG, Martin / CREMERS, Armin B. [1997]: From GeoStore to GeoToolKit: the Second Step. – In: SCHOLL, Michel / VOISARD, Agnès (Hrsg.): Advances in Spatial Databases. 5th International Symposium, SSD '97, Berlin, Germany, July 15-18, 1997, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1262, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, S. 223-237. ISBN: 3-540-63238-7
- BMBF (= BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG) [2001]: Bekanntmachung der Förderrichtlinien „Informationssysteme im Erdmanagement: von Geodaten zu Geodiensten“ im Rahmen des BMBF/DFG-Sonderprogramms

- GEOTECHNOLOGIEN vom 05. Juli 2001. In: *BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (HRSG.): Bundesanzeiger*, Ausgabe Nr. 128 vom 13. Juli 2001, S. 14 371.
- BMBF/DFG (= BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG/DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT) (Hrsg.) [2014]: Geotechnologien – Archiv. Mehr wissen – schneller handeln. – Online-Publikation.*
<http://www.geotechnologien.de> –
letzter Aufruf: 01.12.2017
- BREUNIG, Martin, BÄR, Wolfgang [2002]: Anforderungen mobiler Routenplaner an Datenbanksysteme. – In: SCHUBERT, Sigrig E. / REUSCH, Bernd / JESSE, Norbert (Hrsg.): Informatik bewegt. Informatik 2002 – 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 30. September – 3. Oktober 2002 in Dortmund. Proceedings, Hauptband. GI-Edition. Lecture Notes in Informatics. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 580-584.*
ISBN: 3-88579-348-2
- CASPARY, Wilhelm / JOOS, Gerhard / MÖSBAUER, Monika [2000]: Multimedia und mobile GIS. – In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 125. Jhrg., Heft 8, S. 272-279.*
ISSN: 0340-4560
- DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.) [2000]: Große Anfrage der Abgeordneten Dr.-Ing. Rainer Jork, Ilse Aigner, Günter Baumann, Hans-Dirk Bierling, Klaus Brähmig, Wolfgang Dehnel, Axel E. Fischer (Karlsruhe-Land), Dr. Gerhard Friedrich (Erlangen), Gottfried Haschke (Großhennersdorf), Norbert Hauser (Bonn), Georg Janovsky, Steffen Kampeter, Ulrich Klinkert, Manfred Kolbe, Werner Lensing, Dr. Michael Luther, Erich Maaß (Wilhelmshaven), Dr. Martin Mayer (Siegertsbrunn), Thomas Rachel, Christa Reichard (Dresden), Katherina Reiche, Hans-Peter Repnik, Dr.-Ing. Joachim Schmidt (Halsbrücke), Dr. Erika Schuchardt, Bärbel Sothmann, Arnold Vaatz, Angelika Volquartz, Heinz Wiese (Ehingen) und der Fraktion der CDU/CSU zu Nutzung von Geoinformationen in der Bundesrepublik Deutschland vom 12.4.2000. Drucksache 14/3214. Bundesanzeiger, Bonn, 4 S.*
dip.bundestag.de/btd/14/032/1403214.pdf –
letzter Aufruf: 01.12.2017
- DITTRICH, Klaus R. / GEPPERT, Andreas (Hrsg.) [2001]: Component Database Systems. dpunkt-Verlag, Heidelberg, XVII, 294 S.*
ISBN: 3-932588-75-4
- GÜTING, Ralf Hartmut / BÖHLEN, Michael H. / ERWIG, Martin / JENSEN, Christian S. / LORENTOS, Nikos A. / SCHNEIDER, Markus / VAZIRGIANNIS, Michalis [2000]: A Foundation for Representing and Querying Moving Objects. – In: ACM Transactions on Database Systems, Vol. 25, No. 1, S. 1-42.*
ISSN: 0362-5915
- MÜLLER, S. [1999]: Virtual Reality and Augmented Reality. – In: MUDUR, Sudhir P. / ENCARNAÇÃO, José Luis / ROSSIGNAC, Jarek (Hrsg.): International Conference on Visual Computing ICVC 99, Goa, India, February 23-26, 1999. Proceedings of IFIP TC5/WG5.10 and CSI International Conference on Visual Computing ICVC 99. Mumbai, National Centre for Software Technology, S. 88-94.*
- OGC (= OPENGIS CONSORTIUM) (Hrsg.) [2000]: Geography Markup Language (GML) v1.0. OGC Document Number: 00-029. Date: 12-May-2000.*
http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=7197 –
letzter Aufruf: 01.12.2017
- REINHARDT, Wolfgang [2001]: Concept of a GIS and location based services for mountaineers. – In: KONEČNÝ, Milan / FRIEDMANNOVA, Lucie / GOLAN, Jiri / KOLAR, Miroslav (Hrsg.): GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive. 4th AGILE Conference on Geographic Science, April 19-21 2001, Brno, Czech Republic. Masaryk University, Brno, S. 198-202.*
ISBN: 80-210-2579-4
- SELLIS, Timos [1999]: Research Issues in Spatio-Temporal Database Systems. – In: GÜTING, Ralf Hartmut / PAPADIAS, Dimitris / LOCHOVSKY, Fred (Hrsg.): Advances in Spatial Databases. 6th International Symposium, SSD '99, Hong Kong, China, July 20-23, 1999, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1651, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, pp. 5-11.*
ISBN: 3-540-66247-2
- SZYPERSKI, Clement [1998]: Component Software - Beyond Object-Oriented Programming. ACM Press books. Addison Wesley, Essex, England, XVIII, 411 S.*
ISBN: 0-201-17888-5

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. rer. nat. MARTIN BREUNIG
Karlsruher Institut für Technologie
Geodätisches Institut
Lehrstuhl für Geoinformatik
Englerstraße 7
76131 Karlsruhe
E-Mail: martin.breunig@kit.edu

Neuere Entwicklungen zur Verlaufsbestimmung von Hausanschlussleitungen und Hauptkanälen

Zusammenfassung

Bei der Inspektion von Abwasserkanälen ist es vorteilhaft, wenn solche Verfahren angewendet werden, die außer der TV-Inspektion auch eine Ortung des Entwässerungssystems ermöglichen. Eine detaillierte Kenntnis der Lage der Abwasserleitungen und deren Einbindung in ein kommunales GIS-System erleichtert die Instandhaltungsplanung sowie die Abstimmung der Sanierungsmaßnahmen im privaten Bereich mit denen im öffentlichen Bereich. Für diese vielfältigen Zielsetzungen wurde das autonome Multisensorsystem ASYS – Automatisches System zur unterirdischen Ortungs- und Kanalverlaufsvermessung – in verschiedenen Forschungsprojekten zwischen dem Geodätischen Labor und der Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (AGIS) der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) einerseits sowie der Firma JT-Elektronik in Lindau und dem Stadtentwässerungsbetrieb der Stadt Kassel (Kasseler Entwässerungsbetrieb, KEB) andererseits entwickelt. Dabei mussten technische Aspekte und komplexe Aufgaben der 3-dimensionalen Ortung, der Inspektion sowie auch der Dokumentation erfüllt werden. Im vorliegenden Beitrag wird über den Aufbau, die Funktionalität sowie den praktischen Einsatz von ASYS berichtet. Weiterhin werden auch die Weiterentwicklungen geoASYS und hakaSYS vorgestellt sowie Verbesserungen durch zusätzliche Sensorik diskutiert.

Schlüsselwörter: Grundstücksentwässerungsanlagen, Dokumentation, Positionsbestimmung, Topologie, Visualisierung, Lindauer Mini-Schere, ToF-Kamera, ASYS, geoASYS, hakaSYS

Summary

When inspecting the sewers, it is advantageous to use such methods, which, in addition to the TV inspection, as well allow locating the drainage system. A detailed knowledge of the location (coordinates x , y , z) of the sewers and their integration into a municipal GIS system facilitates maintenance planning and its coordination between the private and the public sector. The autonomous multi-sensor system ASYS – an automatic system for underground tracking and for 3D capturing of network geometry and topology – was developed for various purposes in different research projects between the Geodetic Laboratory and the Geographic Information Systems Research Group (AGIS) of the Bundeswehr University Munich (UniBwM) on the one hand and the JT-Elektronik company in Lindau and the Stadtentwässerungsbetrieb of the city of Kassel (Kasseler Entwässerungsbetrieb, KEB) on the other hand. Thereby special technical aspects and complex tasks of 3-dimensional (3D) underground positioning, the inspection as well as the documentation had to be fulfilled. This paper covers details about the structure, the functionality and the practical use of ASYS. Furthermore, additional developments like geoASYS and hakaSYS will be presented as well as improvements through supplementary sensors like a Time of Flight (ToF) camera.

Keywords: Position of drainage system, GIS documentation, topology of private drainage system, visualisation, Lindauer Mini-Schere, ToF camera, ASYS, geoASYS, hakaSYS

1. Einführung

Standen in den letzten 30 Jahren im Wesentlichen die öffentlichen Abwasserkanäle (Hauptkanäle) bezüglich Lage- und Zustandserfassung im Vordergrund der Betreiber, so rücken seit einigen Jahren auch die Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) bzw. Hausanschlussleitungen in Deutschland (Abb. 1), deren Länge auf das Drei- bis Vierfache des öffentlichen Kanalnetzes und somit auf ca. 1.500.000 km geschätzt wird, mehr und mehr in den Fokus der Fachleute [GÜNTHERT, 1999]. Aufgrund dieser Historie sind Lage und Zustand der öffentlichen Kanäle nicht nur bekannt, sondern auch die dabei erkannten Schäden in den letzten Jahrzehnten nachhaltig beseitigt worden. Daneben wurden auch alle

Informationen in Datenbanken und speziellen Geoinformationssystemen zur Dokumentation und Archivierung gespeichert.

Aufgrund der hierbei gesammelten Erkenntnisse wurde mehr und mehr auch die Einbeziehung der privaten GEA's bezüglich Dokumentation und Sanierung aktuell.

Nicht unwesentlich hat aber auch die Gesetzgebung hinsichtlich der GEA's zu dieser Entwicklung beigetragen, wie in BAUER *et al.* [2009] beispielhaft für das Bundesland Hessen dargelegt wurde. Neben der Erarbeitung der rechtlichen Grundlagen musste auch eine technische Umsetzung entwickelt werden. Hierbei war anzustreben, geometrische Informationen und Untersuchungsdaten der Zuleitungskanäle äquivalent zu den öffentlichen

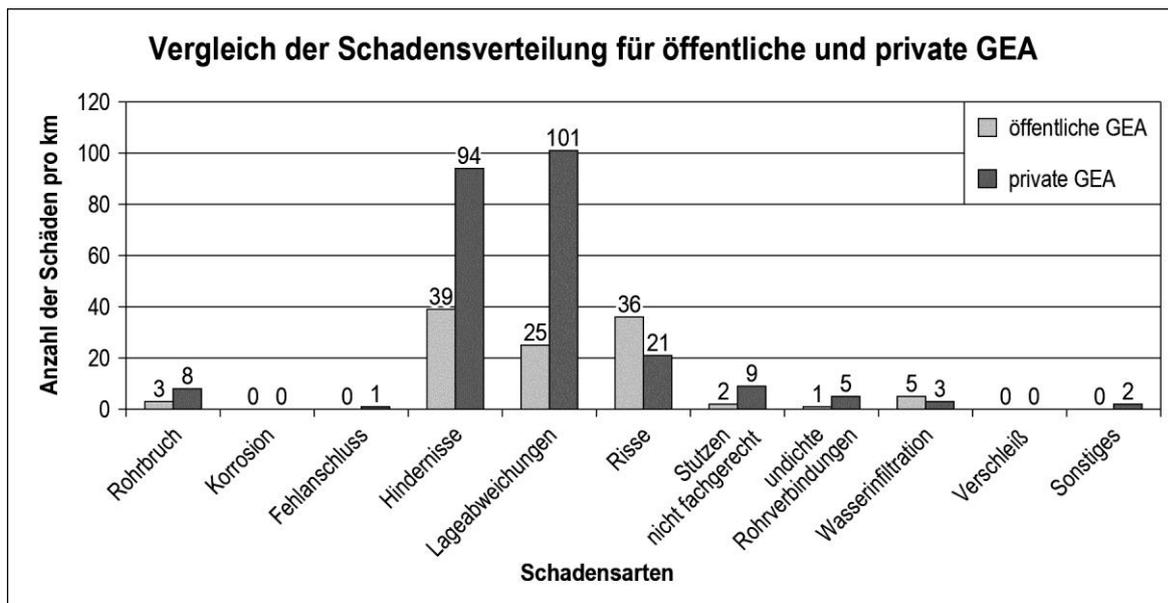


Abb. 1: Vergleich der Schadensverteilung für öffentliche und private GEA's für Steinzeug [nach HEISTER et al., 2007].

Abwasserkanälen in vorhandene Geoinformationssysteme einzubinden.

Da keine ausgereiften Systeme den o. a. Anforderungen entsprachen, wurden in verschiedenen Forschungsprojekten zwischen dem Geodätischen Labor und der Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (AGIS) der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) einerseits sowie der Firma JT-Elektronik in Lindau und dem Stadtentwässerungsbetrieb der Stadt Kassel (Kasseler Entwässerungsbetrieb, KEB) andererseits technische Lösungen diskutiert, entwickelt und zur Praxisreife intensiv erprobt. Die Zielsetzung dabei war, eine unterirdische geodätische Anschlusskanalvermessung mit der TV-Inspektion zur automatisierten Weiterverarbeitung der Daten zu verbinden.

Nachfolgend wird über die Ergebnisse dieser Entwicklungen mit dem Schwerpunkt der messtechnischen Verlaufsbestimmung von Hausanschlusskanälen berichtet; zusätzlich konnte aber auch durch Weiterentwicklung des Messmoduls ein spezielles Messsystem zur genaueren Erfassung des geometrischen Verlaufes von gekrümmten Halungen des öffentlichen Kanalnetzes erfolgreich eingesetzt und erprobt werden.

2. Das Ortungssystem geoASYS für Hausanschlüsse

Zur Dokumentation von Grundstücksentwässerungsanlagen (Abb. 2.) müssen diese im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit von ca. 0,5 m – Baggerschaukelbreite – erfasst werden. Nun liegt

die Problematik darin, geeignete Messsysteme auszuwählen, da diese Leitungen mit nur ca. 1 dm Durchmesser sehr schwer zugänglich sind. Konventionelle Messtechniken sind damit nicht einsetzbar und GNSS- (z. B. GPS-) Sensoren sind heute zwar als Chips mit sehr geringen Ausmaßen erhältlich, fallen aber aus, da im Untergrund kein ausreichendes, verwertbares Signal empfangen werden kann.

Um diese Problematik zu lösen, wurde im Rahmen der o. a. Forschungsprojekte das autonome Multisensorsystem ASYS zur unterirdischen Ortungs- und Kanalverlaufsvermessung konzipiert und realisiert. Dabei standen folgende Ziele im Vordergrund:

- Aufnahme des dreidimensionalen Verlaufes der unterirdischen Hausanschlussleitungen in kleinem Durchmesser DN 100 - 150,

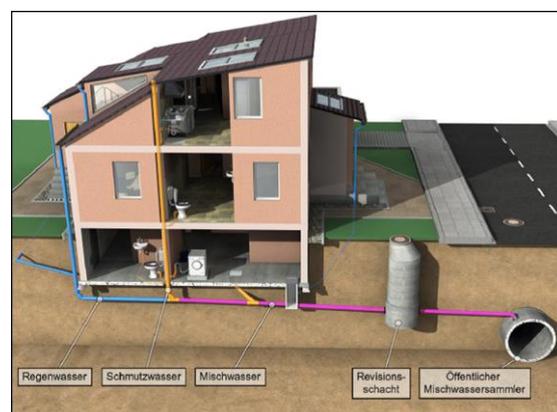


Abb. 2: Darstellung von Grundstücksentwässerungsanlagen [BAUER et al., 2009].

- Lagegenauigkeit von ca. 5 dm auf 25 m Entfernung,
- Aufnahme in Verbindung mit der TV-Inspektion,
- User Interface zur zuverlässigen Steuerung von Inspektion und Aufnahme der Leitungen,
- Robustheit gegen Umwelteinflüsse und Störungen,
- geringe Systemkosten,
- einfache Bedienbarkeit,
- exakte geometrische und topologische Beschreibung des Netzes und relevanter Einzelpunkte bzw. Leitungsabschnitte,
- Berücksichtigung von Bestandsinformationen (Attributierung),
- Möglichkeit der digitalen Weiterverarbeitung der Daten in eingeführter CAD- bzw. GIS-Software und
- Visualisierung des Netzes sowie Einbindung von vorliegenden Luftbildern oder Karten während der Messung.

Im Rahmen eines zusätzlichen Forschungsprojektes, der sogenannten „Private Public Partnership“ (PPP) [BAUER et al., 2009] zwischen dem Entwässerungsbetrieb der Stadt Kassel, der Firma JT-Elektronik GmbH, Lindau, sowie dem Geodätischen Labor und der Arbeitsgruppe GIS (AGIS) der Universität der Bundeswehr München wurde das System ASYS weiterentwickelt.

Das PPP-Projekt hatte die Zielsetzung, das vorhandene System „ASYS“ in geoASYS (Unterirdische geodätische Anschlusskanalvermessung in Verbindung mit der TV-Inspektion zur automatisierten Weiterverarbeitung der Daten im Geoinformationssystem) zu transformieren. geoASYS soll dabei in der Lage sein, den Verlauf des zu untersuchenden Kanals in Echtzeit auf dem Inspektionsfahrzeug zur Unterstützung des Inspektors in einer digitalen Stadtgrundkarte darzustellen und die georeferenzierte Lage (x-, y- und z-Koordinaten) des Kanals detailliert (Leitung, Abzweig, Revisions-schacht) an ein Geoinformationssystem zu übergeben. Im GIS sollen nun alle Informationen (Zustand, Berichte, Bilder, Videos) verknüpft werden, so dass alle Daten, wie auch schon die der öffentlichen Kanäle, jederzeit und aktuell abrufbar sind. ASYS wurde in diesem Projekt als geoASYS zur Einsatzreife gebracht.

Der folgende Abschnitt enthält nun einen Überblick über das System ASYS bzw. geoASYS, seine Architektur, das Ortungsverfahren und die Führung des Operators über das Steuermodul. In einem weiteren Abschnitt wird über praktische Erfahrungen mit dem System berichtet.

2.1 Systemüberblick

geoASYS wurde so konzipiert, dass sowohl die komplexen Aufgaben der 3D-Ortung, der Inspektion als auch der Dokumentation erfüllt werden können. Ein schematischer Überblick des gesamten Aufbaus ist in Abb. 3 wiedergegeben.

Ortung und Inspektion bilden grundsätzlich zwei unterschiedliche Module – das Softwaremodul (ASYS) und das Hardwaremodul (Sensoren, Fahrzeug, Lindauer Schere) –, die getrennt von zwei Controllern gesteuert werden. Die Lindauer Schere beinhaltet eine Satelliten-Rotationskamera mit einer Vorrichtung zur fortlaufenden Kanal- und Abzweig-Inspektion. Außer einem Odometer (Wegimpulsgeber) sind jedoch alle Sensoren wie die Inertial Measuring Unit (IMU) in kompakter Bauweise in einer Vorschubeinheit platziert, sodass auch kleine Kanaldurchmesser von DN100 Durchmesser durchfahren werden können. Zur besseren Veranschaulichung zeigt Abb. 4 eine mobile Anlage mit der Lindauer Mini-Schere und dem integrierten Ortungsmodul ASYS.

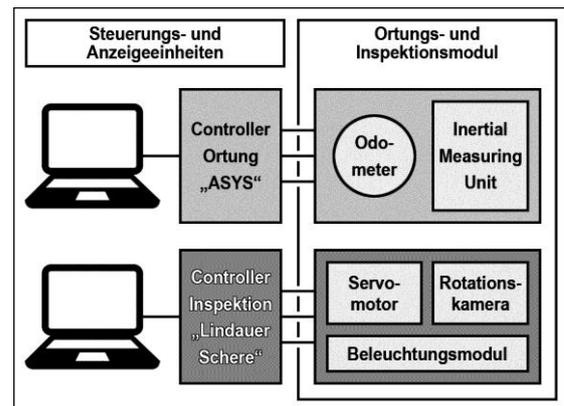


Abb. 3: Schematischer Aufbau des Ortungs- und Inspektionssystems [nach HEISTER/REINHARDT, 2007].



Abb. 4: Mobile Inspektionseinheit für den Schiebetrieb [HEISTER/REINHARDT, 2007].

Für die Praxis werden unterschiedliche Systemvarianten benötigt, die sowohl Haupt- als auch Nebenkanäle aufnehmen können und in den Betriebsmodi des einfachen Schiebetriebes sowie in dem des aufwendigeren Spülbetriebes von einem speziellen Fahrwagen aus einsetzbar sein müssen. Ein solches System, eingebaut in einem speziellen Messwagen, wird in Abb. 5 vorgestellt.

2.2 Das Ortungsmodul

Zur unterirdischen Ortung eignen sich nur Sensorsysteme, die in der Lage sind, möglichst redundant und autonom, d.h. ohne fremde, von außen zugeführte Zusatzinformationen, eine Positionsbestimmung in vorgegebenen diskreten Schritten zu ermöglichen. Ein solches Sensorsystem ist eine Inertial Measuring Unit (IMU), die es in Kombination mit einem Wegimpulsgeber und einer bestimmten Auswertalgorithmik ermöglicht, direkt 3D-Koordinaten des Bewegungsverlaufes zu bestimmen. Die besondere Herausforderung bei der Entwicklung von geoASYS bestand darin, zum einen eine räumliche Integration in der Lindauer Mini-Schere zu ermöglichen und zum anderen eine low-cost Lösung zu erreichen, um in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen das Gesamtsystem anbieten zu können.

Als Sensor wurde deshalb der Motion Tracker XSens MTx ausgewählt, der sich bereits auf den Gebieten der Biomechanik [MOORE et al., 2006] und Virtual Reality [HOL et al., 2006] hervorragend bewähren konnte. Er verkörpert eine vollständige, miniaturisierte IMU (39 x 54 x 28 mm) (Abb. 6), die neben drei Vibrationskreiseln und drei Beschleunigungssensoren zusätzlich drei Magnetfeldsensoren enthält. Die Eigenschaften des MTx können wie folgt zusammengefasst werden:

- Datenausgabe:
 - 3D-Orientierung (Eulerwinkel und Quaternionen),
 - 3D-Drehraten durch Vibrationskreiselmessungen,
 - 3D-Beschleunigungsmessungen,
 - 3D-Magnetfeldmessungen,
- Genauigkeit der Ruhelage: ca. 1°,
- Genauigkeit während der kinematischen Bewegung: ca. 3°,
- Drift der Drehraten während der Bewegung: ca. 1°/Minute,
- Messfrequenz: 25 - 512 Hz,
- Schnittstelle: RS 485, erlaubt maximale Kabellänge von 1.200 m,
- Softwaremodule/API zur Einbindung in eigene Applikationen.

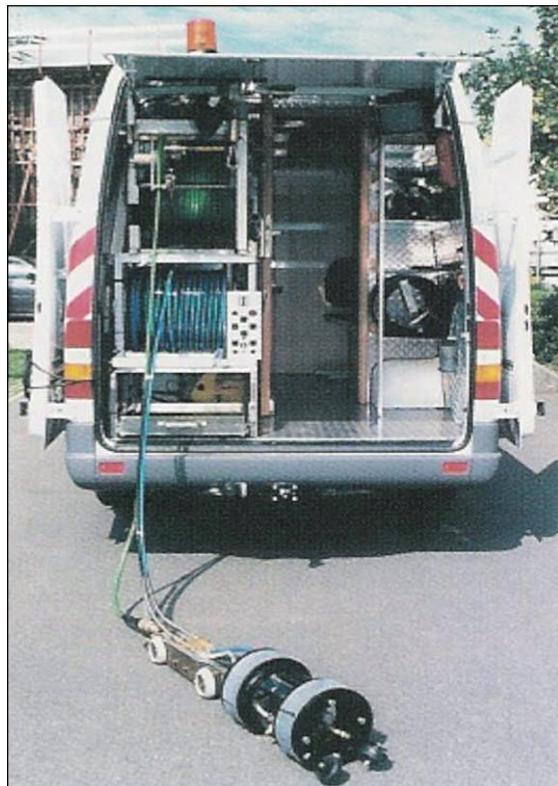
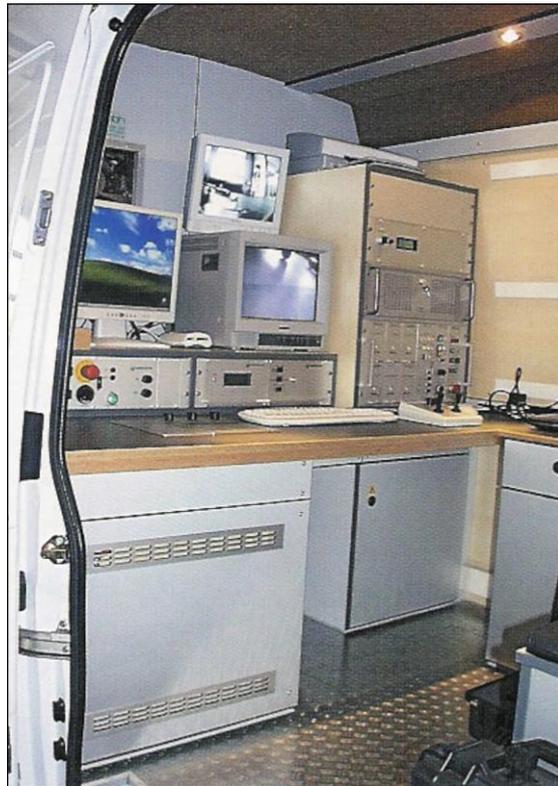


Abb. 5: Inspektionsfahrzeug für den Spülbetrieb [HEISTER/REINHARDT, 2007].
oben: Einbau-Controllersysteme.
unten: Fahrwagen mit Satellit für Inspektion und Ortung.

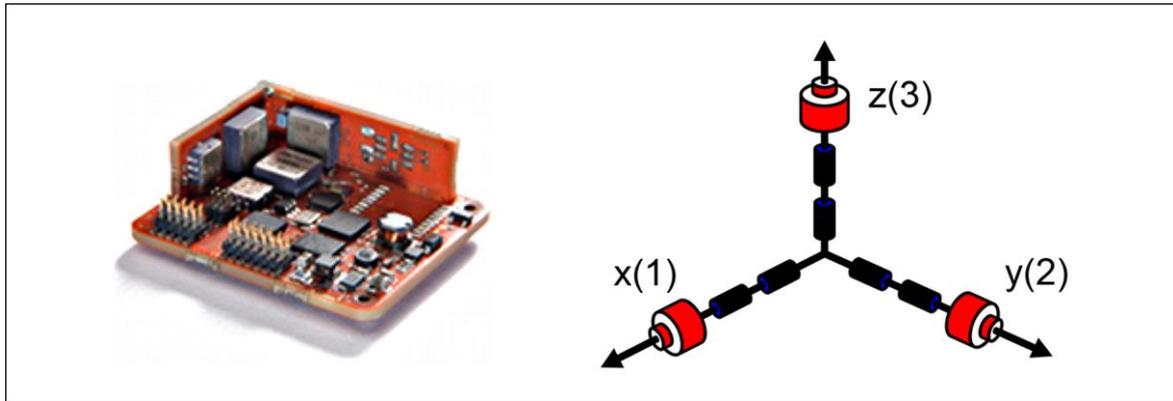


Abb. 6: XSens MTx [HEISTER/REINHARDT, 2007].

Eigene Untersuchungen und umfangreiche Tests unter Einbeziehung der typischen Bewegungsabläufe bei der Kanalinspektion führten zu einer Abschätzung der Messunsicherheit für die Richtung von $< 1,5^\circ$ [HEISTER et al., 2004]. Zur Verbesserung und Stabilisierung der Koppelnavigation können noch visuelle Zusatzinformationen aus der Inspektion über den Kanalverlauf in einem speziellen Auswertalgorithmus integriert werden, so dass die Forderungen nach 5 dm Genauigkeit auf eine Inspektionsdistanz von ca. 25 m erreicht werden kann. Einen schematischen Überblick über die Berech-

nung der Ortungsinformation und weiter folgende Schritte gibt Abb. 7.

Als Schnittstelle zwischen dem Ortungsmodul und dem Anwender/Inspekteur wurde das Steuermodul entwickelt. Der folgende Abschnitt beschreibt diese Softwarekomponente.

2.3 Das Steuermodul

Die Bedienoberfläche der Steuersoftware kennzeichnet sich durch eine intuitive, übersichtliche Struktur aus, um den Inspektions- und Messvor-

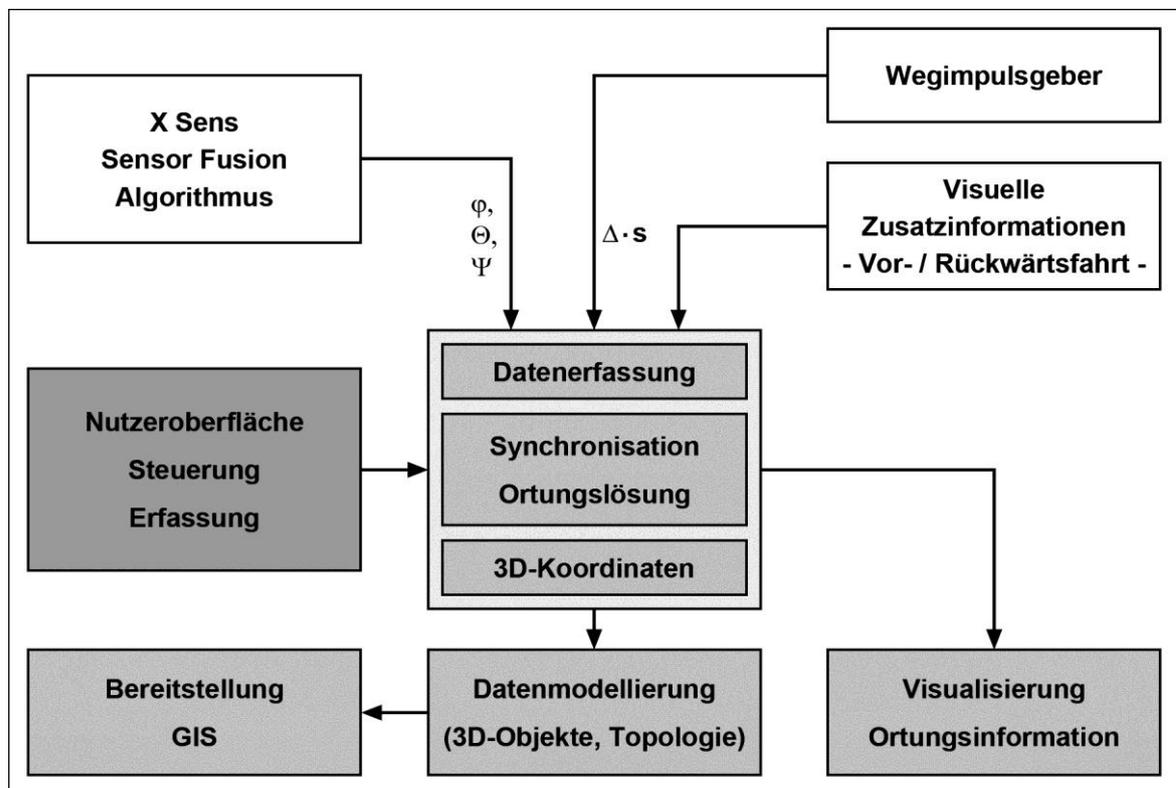


Abb. 7: Berechnung der Ortungsinformation, Datenmodellierung und -übergabe [nach HEISTER et al., 2007].

gang soweit wie möglich von zusätzlichen Eingaben, Steuerbefehlen und anderweitigen Manipulationen zu entlasten. Während die eigentliche Ortungs-Software kontinuierlich im Hintergrund läuft, kann sich der Inspekteur voll auf die Kamerasteuerung und die notwendigen Eingaben zur Schadensdokumentation konzentrieren. Währenddessen wird in Echtzeit der 3D-Verlauf dargestellt, so dass jederzeit zum einen der topologisch korrekte Aufbau des Hausanschlussnetzes, zum anderen aber auch die aktuelle Position der Kamera visuell verfolgt werden kann.

Mit der Darstellung von Geometrie und Topologie auf der Stadtgrundkarte in Echtzeit (Abb. 8) wird dem Inspekteur eine Orientierungshilfe gegeben. Somit wird ihm durch die Darstellung der Position der Inspektionseinheit der Auftrag ermöglicht, eine Anschlussleitung genau bis zur Grundstücksgrenze oder bis zur ersten Hausaußenwandinnenkante zu untersuchen. Er wird auch in die Lage versetzt, im Rahmen der Inspektion die jeweilige Leitung einem Objekt (Grundstück, Haus,

Straßenablauf) zuzuordnen. Diese Zuordnung ist oftmals die Grundlage für den weiteren Umgang mit der inspizierten Leitung.

Ferner ermöglichen die automatisch nummerierten Messpunkte die Zuordnung von Knickpunkten, Abzweigen, Schadstellen oder Endpunkten. Eine spätere Übergabe an die Inspektionssoftware, wo je nach Anforderungen eine ausführlichere Attributierung der Schadensaufnahme möglich ist, z. B. nach den Vorgaben von ISYBAU (siehe unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Isybau>), kann über entsprechenden Datenaustausch erfolgen.

Nach Abschluss der Inspektionsarbeiten kann sowohl eine tabellarische und graphische Ausgabe der geoASYS-Dokumentation als auch ein Datenexport in weiterführende CAD-/GIS-Produkte erfolgen.

2.4. Tests und praktische Anwendungen

In umfangreichen Labortests konnte die hohe Genauigkeit des Systems nachgewiesen werden [HEI-

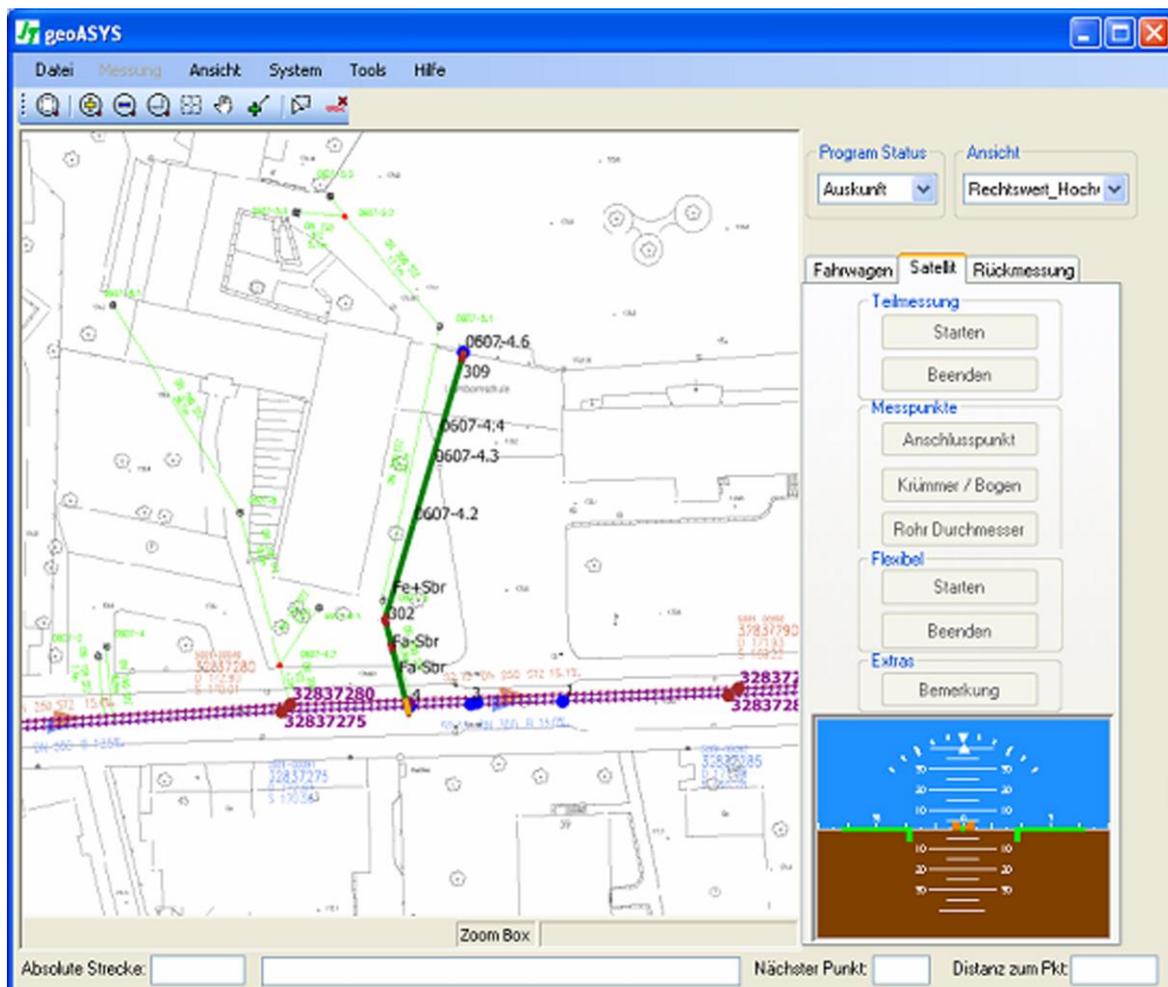


Abb. 8: geoASYS – Benutzeroberfläche [BAUER et al., 2009]

STER et al., 2004]. Bei Praxistests zeigte sich jedoch, dass in einzelnen Fällen, z. B. bei verschmutzten Rohren, stärkerer Druck auf das System ausgeübt werden muss, um Hindernisse zu überwinden, wodurch sich die Lindauer Schere nicht immer parallel zur Kanalachse bewegt, sondern z. B. schräg dazu steht (Abb. 9).

Dies führte dazu, dass zusätzlich zur Messung im „Vorwärtsbetrieb“ die Messung beim Zurückziehen des Systems zur Verbesserung der Geometrie verwendet wird, da in diesem Fall die optimale Lage des Systems weitgehend gewährleistet ist.

Zur Verifizierung der Genauigkeit beim Einsatz von geoASYS wurden im Vorfeld die in einem Testgebiet liegenden zugänglichen Entwässerungselemente topographisch vermessen. Die Vermessungsdaten der Entwässerungselemente (z. B. Revisionsschächte) wurden in die digitale Stadtgrundkarte eingepflegt. Durch diese Vorgehensweise wurde jede vor Ort mit geoASYS durchgeführte Vermessung während der Inspektion des Anschlusskanals überprüfbar. Durch ständige Anpassung der Hard- und Software sowie der Kalibrierung des Systems konnte eine ständige Verbesserung bei der Verlaufsmessung erreicht werden.

Betrachtet man die ersten 20 Meter einer Vermessung, so kann man hier sogar feststellen, dass die Messdaten mit der tatsächlich angenommenen Lage des Anschlusskanals häufig punktgenau übereinstimmen. Die laufende Verbesserung der Vermessungsqualität, aber auch intensivere praktische Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass das formulierte Ziel von ± 50 cm in der x- und y-Achse und ± 5 cm in der z-Achse [BAUER et al., 2009] auch über die ersten 20 Meter hinaus erreicht wurde.

3. Das Ortungssystem hakaSYS für Hauptkanäle

Eine lage- und höhenrichtige Dokumentation von Haltungsverläufen (Verbindungsstrecke eines Abwasserkanals zwischen zwei Schächten von Hauptkanälen) ist Voraussetzung für unterschiedliche Maßnahmen innerhalb von Kanalnetzen. Dies wird umso bedeutender, wenn an vorhandenen Haltungen weiterführende Netzverdichtungsmessungen im Bereich der Grundstücksentwässerungsanlagen erfolgen sollen. Wie bereits erwähnt, haben die Netzbetreiber in den letzten Jahrzehnten die Datenqualität der Kanalnetze durch terrestrische Vermessung ihrer Schachtbauwerke gesteigert. Dabei wurden sämtliche Zu- und Abläufe zentimetergenau in Lage und Höhe bestimmt. Zunehmend werden auch Scanverfahren eingesetzt, um größere Bauwerke de-

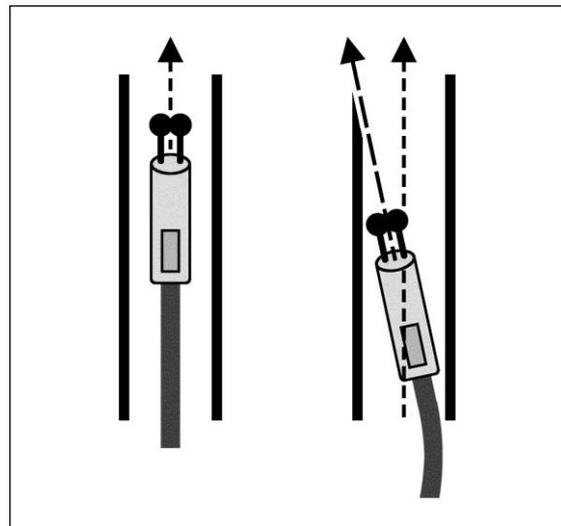


Abb. 9: Optimale Lage des Systems (links) und „schräge“ Lage (rechts) [nach BAUER et al., 2009].

tailliert zu modellieren. Dagegen entsteht der Verlauf in Lage und Höhe einer Haltung meist durch CAD-Konstruktion zwischen den bekannten Schachtpunkten.

Im Idealfall einer geradlinigen Verbindung zwischen zwei Schächten führt dies zu ausreichenden Ergebnissen. Bei kreis- oder bogenförmigen Verläufen reichen die Informationen – meist aus analogen Planunterlagen entnommen – jedoch nicht mehr aus, um einen lagerichtigen Verlauf zu konstruieren. Die so entstandenen Unsicherheiten können mehrere Meter betragen.

3.1 Systemüberblick

Die Vorgabe bestand darin, ein Messsystem zu entwickeln, im Folgenden hakaSYS genannt, das als autonomes System in der Lage ist, den geometrischen Verlauf von Haltungen sowie anderen unterirdisch, nicht begehbaren Rohrleitungen ab einem Durchmesser DN250 (25 cm) in Lage und Höhe automatisiert zu vermessen. Die geforderte Genauigkeit beträgt dabei eine Haltungsbreite. Ein Fahrwagen mit Messsensorik durchfährt dabei die Kanalsohle zwischen zwei lage- und höhenmäßig bekannten Punkten und erfasst in diskreten Punkten ihren Verlauf. Der Operateur verfolgt den Fortgang in Echtzeit und steuert den Fahrwagen über einen Controller. Während der Erfassung können Ereignispunkte gesetzt werden, die z. B. auch eine georeferenzierte Schadensdokumentation ermöglichen [HÜMMER et al., 2013].

Abbildung 10 zeigt schematisch den Messablauf. Da der Fahrwagen aufgrund seiner Kabelverbindung zu einem Inspektionsfahrzeug ohnehin

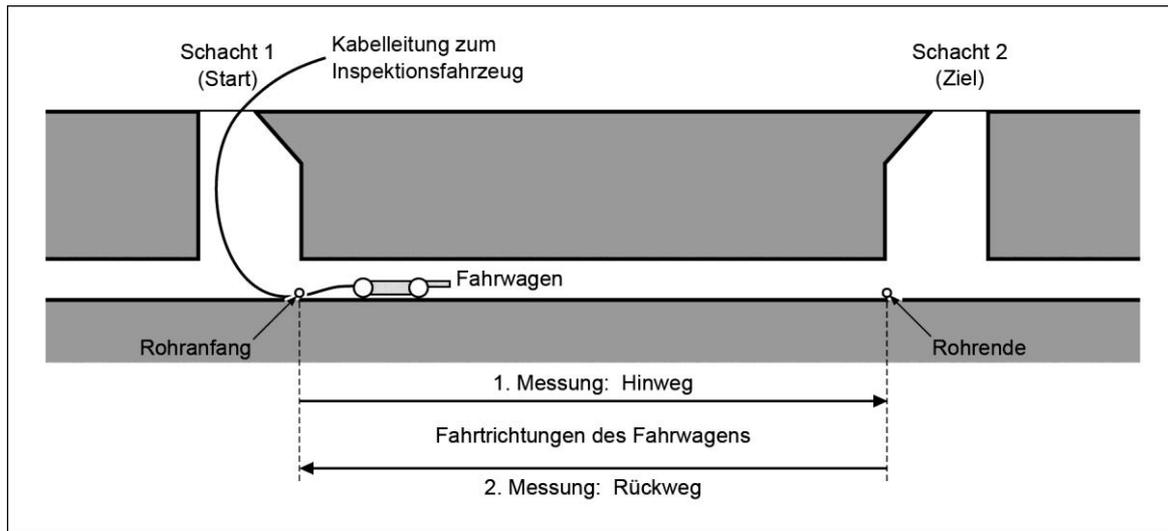


Abb. 10: Hin- und Rückmessung zwischen zwei Schächten [nach HÜMMER et al., 2013].

zum Ausgangsschacht zurückkehren muss, stehen sowohl eine Hin- als auch eine Rückmessung für die Vermessung der Haltung als Beobachtungsdatensatz zur Verfügung. Der Haltungsverlauf darf dabei geknickt oder bogenförmig verlaufen.

Ein solcher Fahrwagen (Abb. 11), wie er in der Kanalinspektion eingesetzt wird, verfügt über eine dreh- und schwenkbare Kamera mit Beleuchtungseinrichtung und je nach Einsatzgebiet entsprechender Bereifung. Die Bereifung des Fahrwagens muss dem Querschnitt so angepasst werden, dass einerseits eine Führung in der Mitte des Profils sichergestellt ist und andererseits ein Klettern am Haltungsrand vermieden wird. Damit werden Rollbewegungen des Fahrwagens minimiert. Der Fahrwagen ist über eine Kabelleitung mit Strom-, Steuer- und Datenleitungen mit dem in Schachtnähe befindlichen Inspektionsfahrzeug verbunden. Die Messsensorik befindet sich im Fahrwagengehäuse, welches auch das Body-Koordinatensystem repräsentiert.

Die Lage des Messsystems zum Fahrwagen wurde entsprechend kalibriert. Dies ist für jeden Fahrwagentyp notwendig, um ihn anhand bekannter Bezugspunkte so in der Haltung positionieren

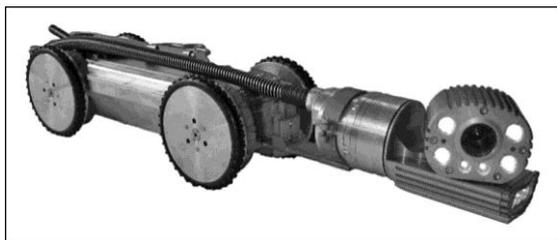


Abb. 11: JT-Fahrwagen mit integrierter Sensorik [HÜMMER et al., 2013].

zu können, dass ein Bezug zum Haltungsanfang (koordinatenmäßig bekannt) hergestellt werden kann. Ferner muss in diesem System die Position der Kamera bekannt sein, da die Positionierung des Fahrwagens vor aufzunehmenden Punkten über das Kamerabild erfolgen muss.

3.2 Das Ortungsmodul

Die Bestimmung der Positionen erfolgt wie im System geoASYS nach dem Prinzip der Koppelnavigation. Das bereits vorhandene Ortungsmodul wurde jedoch um einen einachsigen fiberoptischen Kreisel (FOG) der Firma KVH (Abb. 12) erweitert. Im Vergleich zu MEMS-Sensoren (Micro Electro Mechanical Systems) weist ein optischer Kreisel, der auf dem Sagnac-Effekt basiert, eine deutlich höhere Genauigkeit bei der Bestimmung der Drehraten auf und ist unempfindlich gegen äußere Stör-



Abb. 12: Ortungsmodul DSP-3100 der Fa. KVH [HÜMMER et al., 2013].

einflüsse. Die um das weiße Rauschen bereinigte Auflösung ist kleiner als $0,0005^\circ$ bei einer Abtastfrequenz von 1.000 Hz. Labortests haben gezeigt, dass bei Berücksichtigung der Erddrehraten in Abhängigkeit von der geographischen Breite die verbleibenden Driften unter 1° /Stunde betragen. Mit diesem Sensor kann die Bestimmung der Richtungsänderung im geforderten Einsatzszenario praktisch als fehlerfrei betrachtet werden, da andere äußere Fehlereinflüsse überwiegen. Für die Datenkommunikation mit dem Sensor wurde ein eigenes Erfassungsmodul entwickelt, das die Messdaten zuverlässig aufzeichnet. Dies war notwendig, da der Sensor lediglich die Drehraten als Datenpaket zu 5 Byte mit konstanter Frequenz von 1.000 Hz ausgibt. Als Schnittstelle zur seriellen Datenübertragung wird wieder eine RS 422 eingesetzt. Damit sind die geforderten Leitungslängen von bis zu 800 m möglich.

Zur Bestimmung der Weglänge werden die Dreh-Impulsgeber der Versorgungs- und Datenleitung verwendet. Die Wegänderungen stehen über eine eigene Software-API zur Verfügung und werden im Ortungsmodul erfasst. Um den Roll- und Nickwinkel des Fahrwagens zu bestimmen, wird der aus geoASYS bekannte Sensor der Firma XSens eingesetzt. Mit diesen Sensoren stehen sämtliche für eine präzise Koppelnavigation benötigte Beobachtungsgrößen (Streckeninkrement und drei Rotationswinkel) über den gesamten Messweg permanent zur Verfügung.

Voraussetzung für eine Berechnung der Koppelnavigation in einem Echtzeitsystem ist eine kontinuierliche, zeitsynchrone und zuverlässige Datenerfassung aller Sensoren. Die eingehenden Beobachtungen werden fortwährend anhand von Bedingungen auf Plausibilität geprüft. Dabei werden einerseits die Statusmeldungen der Sensoren ausgewertet sowie Checksummen der Datenpakete geprüft. Auftretende Fehler werden registriert und dürfen vorgegebene Schwellenwerte nicht überschreiten. Das Fehlermanagement muss so abgestimmt sein, dass eine vertretbare Entscheidung getroffen werden kann, ab welchem Zeitpunkt die Messung softwareseitig zu beenden ist. Diese Entscheidung darf jedoch nicht zu streng getroffen werden, da eine Wiederholung der Messung einen nicht unerheblichen zeitlichen und wirtschaftlichen Aufwand bedeutet. Mittels diverser Labor- und Praxistests konnten diese Parameter empirisch bestimmt werden.

Es liegt nahe, dass sich die Festlegung der Positionsrate nach dem Sensor mit der geringsten Messfrequenz richten muss. Die Beobachtungen des FOG- und des XSens-Sensors werden gepuffert und für die Berechnung der Koppelnavigation der

Fahrwagenpositionen bereitgestellt. Liegt eine Wegänderung vor, wird diese mit einer Frequenz von 10 Hz berechnet. Die schon vorhandenen Module aus dem System geoASYS wie die Konfiguration der Weggebersysteme, die Verwaltung von Fahrwagentypen inklusive ihrer Translationen von Sensorpositionen im Fahrwegensystem und die Kalibrierung des Nickwinkeloffsets zum Horizont begünstigte die gesamte Entwicklung und Implementierung. Um die Messprozedur zu starten, müssen die Koordinaten des Rohranfangs- und Rohrendpunktes aus dem Steuermodul übergeben werden und die im Fahrwegensystem gemessenen Beobachtungen in das Landessystem überführt werden. Hierzu wird der Fahrwagen über einen definierten Punkt am Rohranfangspunkt positioniert.

Da diese Softwareprozeduren bereits in geoASYS vorhanden sind, musste die bestehende Berechnung nur angepasst werden. Um nun den Haltingsverlauf selbst neu zu bestimmen, müssen die Beobachtungen des FOG-Sensors lediglich als Gierwinkel (Richtungswinkel) für jeden diskreten Koppelnavigationspunkt eingeführt werden. Das benötigte Streckenelement liefert der Weggeber. Da es sich bei dem eingesetzten FOG um einen Einachs-Sensor handelt, müssen die Beobachtungen um den Roll- und Nickwinkel des Fahrwagens korrigiert werden. Beim Einbau beider Sensoren wurde berücksichtigt, dass sich beide Sensoren in einer (horizontalen) Ebene befinden. Die dann in Echtzeit im Landeskoordinatensystem berechneten Fahrwagenpositionen werden dem Steuermodul per Event übermittelt.

3.3 Das Steuermodul

Das Steuermodul mit graphischer Oberfläche wurde als eigenständige Softwareapplikation neu entwickelt. Abbildung 13 zeigt die Oberfläche mit hinterlegter Katasterkarte und Fachinformationen des Kanalbestandes. Die zu vermessenden Haltungen werden importiert und sind in blauer Farbe erkennbar. Da der gekrümmte Verlauf vor Beginn der Vermessung noch unbekannt ist, verläuft die Verbindung zwischen Haltungsanfang und Ende zunächst gerade.

Für den Start einer Vermessung ist nach Angabe des Fahrwagentyps lediglich die Auswahl der Haltung notwendig, an dessen Anfangspunkt sich der Fahrwagen befindet. Nach dem Starten der Vermessung sind keine weiteren Benutzereingaben mehr erforderlich. Lediglich das Erreichen des Haltungsendpunktes am Ende der Hinfahrt und das Erreichen des Ausgangspunktes am Ende der Rückfahrt wird per Knopfdruck bestätigt. Der Operateur kann den vorläufigen Verlauf der Hin- und Rück-



Abb. 13: Software zur Vermessung von Haltungen mit Hintergrundkarte des vorhandenen Bestandes [HÜMMER et al., 2013].

fahrt live in der Karte verfolgen. Da als Anfangsrichtung der Richtungswinkel der geradlinigen Haltung verwendet wird, ist der zunächst dargestellte Verlauf noch nicht lagerichtig, sondern zur wahren Anfangsrichtung verdreht. Dennoch wurde von Seiten des Kunden Wert auf eine (falsche) Echtzeitdarstellung gelegt, da so bereits Richtungsänderungen während der Befahrung mit dem Bild der Inspektionskamera verglichen und optisch auf Plausibilität geprüft werden können.

Mit Abschluss der Rückfahrt werden die Positionen der Hin- und Rückmessung gemittelt und anschließend auf die bekannten Haltungsanfangs- und -endpunkte nach Lage und Höhe getrennt transformiert. Hierdurch wird sichergestellt, dass die durch das Messsystem hakaSYS neu bestimmten Positionen an die bekannten Ausgangspunkte anknüpfen und Klaffungen und Mehrdeutigkeiten vermieden werden. Der Haltungsverlauf beginnt und endet stets an den vorgegebenen Knoten der Schachtbauwerke. Da die Haltungsenden als fehlerfrei eingeführt werden, führen Fehler bei der Weglängenmessung zu einer Dehnung oder Stauchung der vermessenen Haltungspositionen. Fehler in der Richtungsmessung wirken sich direkt auf die Querabweichung aus, wobei mit den größten Abweichungen in der Lage in der Mitte der Haltung gerechnet werden kann. Aufgrund der Weggeberauflösung von einem Zentimeter (ein Puls pro cm) entstehen pro Haltung sehr viele Stützpunkte. Diese

sind zur Speicherung der Haltung in Bestandsdatenbanken nicht geeignet, zumal diese Systeme den Haltungsverlauf als Polylinien verwalten und Stützpunkte nur bei Vorliegen eines Knickpunktes geführt werden sollen. Es erfolgt deshalb ein Ausdünnen der Stützpunkte nach dem Douglas-Peucker-Algorithmus mit einer Scheitelhöhe von 3 cm. In einem letzten Schritt werden die bestimmten Haltungen in den Formaten ESRI-Shape und DXF im Projektverzeichnis abgelegt. Für nachträgliche Analysen stehen als Datensatz die Rohdaten der Hin- und Rückmessung, das Ergebnis der Mittelbildung und Transformation sowie das Ergebnis der ausgedünnten Haltung zur Verfügung.

3.4 Praxistest

Nachdem die ersten Tests auf einem Versuchsgelände mit vermessener Referenzstrecke positiv abgeschlossen werden konnten, wurde das System verschiedenen Praxistests unter Realbedingungen unterzogen. Das Testgebiet enthielt mehrere Haltungen mit Kreisbögen sowie leicht gebogenen Haltungen.

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen beispielhaft die Krümmungen untersuchter Ei- und Kreisprofile. Erfreulich war, dass die Rüstzeiten durch die Vermessung nicht wesentlich erhöht werden und die Fahrwegengeschwindigkeit im Vergleich zur regulären Inspektion nicht geändert werden musste.



Abb. 14: Eiprofil DN 700/1050
[HÜMMER et al., 2013].



Abb. 15: Kreisprofil DN 7800
[HÜMMER et al., 2013].

Nach der Positionierung des Fahrwagens im Schacht können pro Minute durchschnittlich 10 m Haltungsverlauf befahren werden. Bei einer durchschnittlichen Haltungslänge von 60 m beträgt die Dauer für die Hin- und Rückfahrt weniger als 15 Minuten. Die Echtzeitvisualisierung vorläufiger Ergebnisse erwies sich im praktischen Einsatz ebenso vorteilhaft, da hierdurch die Entscheidung des Operators zur Durchführung einer Wiederholungsmessung, ggf. dem Wechsel der Fahrwagenbereifung oder einer vorausgehenden Rohrreinigung bis hin zum Abbruch der Vermessung, erleichtert wird.

3.5 Testergebnisse

Durch Auswertung der Hin- und Rückmessung sowie der gemittelten Ergebnisse konnte nachgewiesen werden, dass die maximalen Abweichungen in der Mitte einer Haltung bei Haltungsängen bis 120 m weniger als 1 dm aufweisen. Ebenso konnte die Kompensation von systematischen Fehlern durch die Mittelbildung von Hin- und Rückmessung bestätigt werden. Bezüglich der Reproduzierbarkeit mehrfach befahrener Haltungen liegen die Lösungen innerhalb eines Bandes mit maximaler Breite von 15 cm. Diese Streuung resultiert nicht nur aus der Genauigkeit des Messsystems selbst, sondern auch aus den Unsicherheiten hinsichtlich Positionierung des Fahrwagens und der Weglängenmessung über das Versorgungskabel. Die sehr gute Reproduzierbarkeit bei Mehrfachbefahrungen bedeutet im Ergebnis, dass eine einzige Befahrung aus Hin- und Rückmessung ausreichend ist, um den Haltungsverlauf im vorgegebenen Genauigkeitsrahmen zu bestimmen.

Die nahezu driftfreie Erfassung der Richtungsänderungen ermöglicht es, auch geradlinige und gering gekrümmte Haltungsverläufe gut zu erfassen. Dies bedeutet, dass Übergänge zwischen

Krümmungen und Geraden gut identifiziert werden können. Beispielhaft zeigt dies die Vermessung einer Haltung (Abb. 16), deren Verlauf anfangs bis zur Straßenmitte gebogen ist und anschließend in einen geraden Verlauf übergeht. In den Planunterlagen war diese Haltung als Kreisbogen mit anschließender Gerade in blauer Farbe verzeichnet. Die Stützpunkte in roter Farbe verdeutlichen, dass die neu bestimmte Haltung (grün) in geraden Abschnitten keine Scheitelhöhen über 5 cm enthält. Die Querabweichung zwischen Vermessung und Bestand beträgt im Maximum 3,4 m. Dies ist eine Größenordnung, die auch bereits erheblichen Einfluss auf die geometrische Größe der Haltungsänge selbst hat: Die im Bestand nachgewiesene Länge wurde mit 61,30 m geführt, aus der Vermessung ergibt sich eine rechnerische Länge der Haltung von 57,07 m. Die Differenz in der Haltungsänge beträgt 7%. Bei Sanierungsmaßnahmen, aber auch bei Netzerweiterungen oder Baumaßnahmen in unmittelbarer Nähe führen diese Fehler im Bereich mehrerer Meter zu unerwarteten Kostensteigerungen. Mit dem neuen System hakaSYS können diese zukünftig vermieden werden.

4. Zusätzliche Sensorik zur Verbesserung der Messgenauigkeit

Wie bereits mehrfach erwähnt, wird die Genauigkeit aber auch die Zuverlässigkeit der Ortungssysteme ASYS und geoASYS durch unterschiedliche äußere Einflüsse beeinträchtigt. Um diese zu detektieren oder gar zu kompensieren, wurde über die Implementierung von zusätzlicher Sensorik nachgedacht. Hierbei wurde als zweckmäßiger Sensor eine Time of Flight (ToF) Kamera als sinnvoll erachtet, da sie visuelle aber auch messtechnische Eigenschaften besitzt. Nachfolgend wird über Unter-

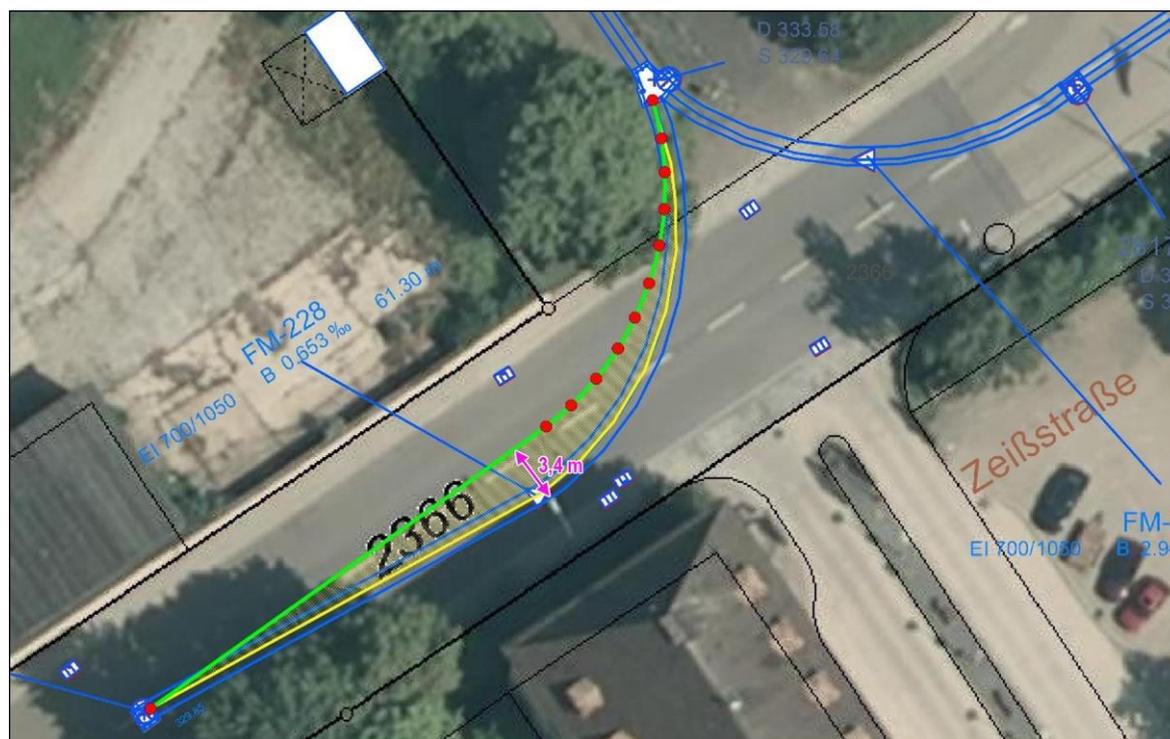


Abb. 16: Haltungsbestand (blau), Vermessung (grün), ausgedünnte Stützpunkte (rot) [HÜMMER et al., 2013].

suchungsergebnisse bezüglich der vorgegebenen Zielsetzung – eine Verbesserung der Messgenauigkeit – berichtet.

4.1 Grenzen des bestehenden Messkonzepts und deren Ursachen

Die Einsatzbedingungen für die oben genannten Ortungssysteme – im Untergrund in durchschnittlich 10-20 cm großen Rohrsystemen – stellen aus geodätischer und messtechnischer Sicht eine Herausforderung dar. Wie bereits erwähnt, beträgt die geforderte Genauigkeit ca. 0,5 m in der Lage und 0,1 m in der Höhe. Konventionelle geodätische Messtechniken wie GPS, Tachymetrie oder Laser-scanning sind zur Dokumentation von Grundstücks-entwässerungsanlagen grundsätzlich nicht geeignet.

Die Verarbeitungsprozesse der Ortungssysteme geoASYS und hakaSYS stützen sich aus diesem Grund, wie vorangegangen beschrieben, auf Informationen von zwei Sensoren, einem Odometer (Wegstreckengeber) und einem miniaturisierten MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) inertialen Navigationssystem (INS) [HEISTER/REINHARDT, 2007; STRIEGL et al., 2010, 2012]. Da bei der Vermessung von Rohrsystemen nur wenige Möglichkeiten zur Kontrolle der Messergebnisse bestehen, können sich die Ortungssysteme aktuell nur

auf diese beiden Sensoren stützen. Unter den spezifizierten Rahmenbedingungen liefern diese Ortungssysteme Messergebnisse in der geforderten Genauigkeit. Die steigenden Anforderungen durch die Anwender, wie die Befahrung von längeren und komplexeren Rohrsystemen oder die Erhöhung der Lage- bzw. Höhengenaugigkeiten, zeigen bei den dargestellten Messkonzepten Grenzen auf.

Im Folgenden werden kurz die beiden wichtigsten Problemstellungen bei der Vermessung von GEA's bzw. Hauptkanälen vorgestellt:

Drifteffekte

Bei den Drehratensensoren des INS treten sogenannte „Drift“-Effekte auf. Diese haben eine Größenordnung von ungefähr einem Grad pro Minute und wirken sich direkt auf die Winkelmessungen und damit auch auf die Genauigkeit der Dokumentation des Rohrverlaufes aus. Mit Hilfe der vorgestellten Messkonzepte und Algorithmen konnten diese „Drift“-Effekte jedoch bisher gut kompensiert werden [STRIEGL et al., 2010].

Schwimmwinkel

Eine weitere Problemstellung ergibt sich durch die Bewegung der Inspektionseinheit innerhalb des Rohres. Im bisher angenommenen Bewegungsmodell folgt die Inspektionseinheit der mittleren Achse des jeweiligen Rohrelementes. In der Praxis

hat sich aber gezeigt, dass beispielsweise durch Hindernisse innerhalb des Rohres (z.B. Verschmutzungen) oder durch spezielle Manöver des Operateurs die Lage der Inspektionseinheit von der mittleren Rohrachse richtungsmäßig abweicht (siehe Abb. 9). Diese Abweichung der Orientierung der Inspektionseinheit von der mittleren Rohrachse wird als Schwimmwinkel bezeichnet. Diese Schwimmwinkel werden direkt vom INS erfasst und führen zu Fehlorientierungen im Messprozess und beeinflussen somit erheblich die Qualität des dokumentierten Rohrverlaufes in der Lage sowie in der Höhe. In Abbildung 17 sind beispielhaft die Auswirkungen von Schwimmwinkeln auf den dokumentierten Rohrverlauf skizziert.

Schwimmwinkel können nicht mit der bestehenden Messkonfiguration erfasst werden, sondern nur durch das Messkonzept minimiert werden (s.a. Abschnitt 2.). Um sie aber zu bestimmen und somit Korrekturansätze zu modellieren, müssen zusätzliche Sensoren wie beispielsweise eine Time of Flight (ToF) Kamera eingesetzt werden.

4.2 ToF-Kamera zur Bestimmung von Schwimmwinkeln

In STRIEGL [2016] wurde unter Laborbedingungen untersucht, ob mittels Aufnahmen einer ToF-Ka-

mera in einem Rohrsystem Schwimmwinkel grundsätzlich bestimmt werden können und mit welcher Genauigkeit diese Bestimmung erfolgen kann.

Gerader letzter Punkt ist von Interesse, da schon kleine Winkelfehler, beispielsweise bei der Bestimmung von Bögen, Auswirkungen auf die Genauigkeit haben können. Dies soll kurz anhand eines kleinen Rechenbeispielles demonstriert werden: Ein Fehler bei der Bestimmung eines Bogenwinkels von nur 2° führt nach einer darauf folgenden Befahrung eines geraden Rohrelements von 14 m Länge schon zu einer Lageabweichung von 0,5 m. Bei der Befahrung von komplexen und räumlich ausgedehnten GEA's kann die geforderte Lagegenauigkeit so sehr schnell überschritten werden.

Im vorliegenden Fall wurde die ToF-Kamera SwissRanger 4000 der Firma Mesa Imaging (Abb. 18) zur Aufnahme einer 3D-Punktwolke innerhalb des Rohres verwendet.

Die Bestimmung des Schwimmwinkels anhand der aufgenommenen Punktwolke erfolgt dann in folgenden Schritten:

1. Bestimmung der Rohrachse aus der aufgenommenen Punktwolke

Die Rohrachse kann beispielsweise mittels des RANSAC (random sample consensus) Algorithmus [BOLLES/FISCHLER, 1981] oder der

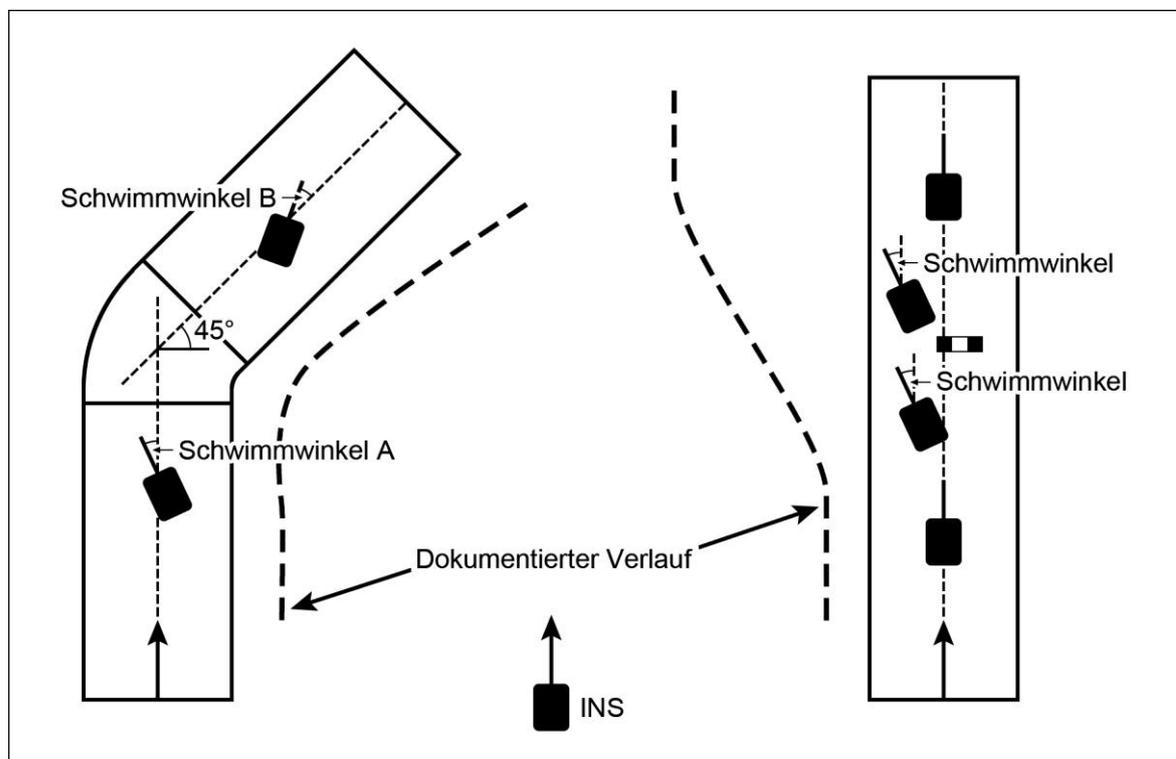


Abb. 17: Schwimmwinkel bei der Befahrung eines Bogens (links) sowie eines geraden Rohres mit Hindernis (rechts) [nach STRIEGL, 2016].

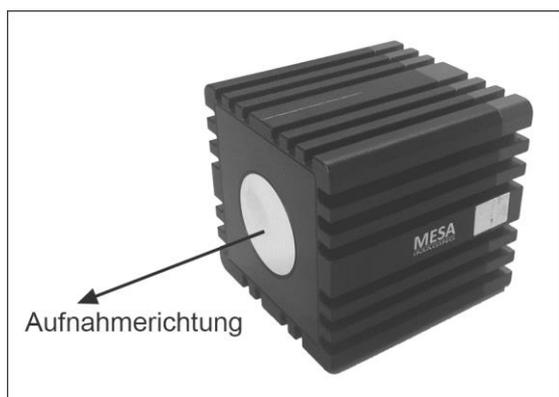


Abb. 18: SR4000 der Firma Mesa Imaging [STRIEGL, 2016].

Hough-Transformation [HOUGH, 1962] bestimmt werden. In STRIEGL [2016] wurde des Weiteren ein speziell für den Anwendungsfall entwickeltes Verfahren, das 2D-Zylinder-Fitting, zur Bestimmung der Rohrachse entwickelt.

2. Verschneidung der bestimmten Rohrachse mit dem Koordinatensystem der ToF-Kamera

Durch die Verschneidung kann die Lage des Koordinatensystems der ToF-Kamera bezüglich der Rohrachse bestimmt werden. Dies wird auch als äußere Orientierung der ToF-Kamera zur Rohrachse bezeichnet. Die Verschneidung liefert die Lage- und Höhenabweichung des Koordinatenursprungs zur Rohrachse sowie einen Lage- und Höhenwinkel, welche die Abweichung der z-Achse (Aufnahmerichtung) des Koordinatensystems bzgl. der Rohrachse beschreiben.

3. Transformation der äußeren Orientierung ins lokale Koordinatensystem

Die äußere Orientierung beschreibt die Abweichung zur Rohrachse der ToF-Kamera im Kamera-Koordinatensystem. Im letzten Schritt muss mittels der INS-Messungen die äußere Orientierung in das lokale Koordinatensystem transformiert werden, um die Schwimmwinkelkomponenten für die Lage- und Höhenberechnung des Rohrsystems zu erhalten. Die Schwimmwinkelkomponenten fließen dann als Korrekturwerte in den dann folgenden Auswerteprozess mit ein.

Die Ergebnisse der Laborversuche haben gezeigt, dass die Genauigkeit, mit der die äußere Orientierung, respektive der Schwimmwinkel, bestimmt werden kann, von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Unter anderem führen vor allem Mehrwegeeffekte der Entfernungsmessung der ToF zu syste-

matischen Fehlern bei der Bestimmung von Schwimmwinkeln.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass das 2D-Zylinder-Fitting mit einer Genauigkeit von $1,25^\circ$ die besten Ergebnisse bei der Bestimmung von Schwimmwinkeln liefert. Somit ist der Einsatz einer ToF-Kamera ein sinnvoller Ansatz, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit aber auch die Reichweite bei der Dokumentation von Rohrsystemen mit ASYS oder geoASYS zu erhöhen.

4.3 Weitere ausgewählte Anwendungsmöglichkeiten

Direkte Bestimmung von Bogenwinkeln mittels einer Aufnahme einer ToF-Kamera

Bei Aufnahmen im Nahbereich vor Bögen besteht die Möglichkeit, die Winkel von flachen Bögen direkt aus einer Aufnahme der ToF-Kamera abzuleiten. Dazu muss mittels der im vorherigen Abschnitt schon erwähnten Verfahren RANSAC bzw. Hough-Transformation eine Segmentierung der Punktwolke erfolgen. Das Ziel ist die Bestimmung der Rohrachsen, die vor und nach dem Bogen befindlichen geraden Rohrelemente. Die beiden Rohrachsen können anschließend miteinander verschnitten werden. Der berechnete Schnittwinkel entspricht dann dem Winkel des zu bestimmenden Bogens (Abb. 19).

Bei der Bestimmung der Winkel von Bögen aus den Messungen einer ToF-Kamera ist es von

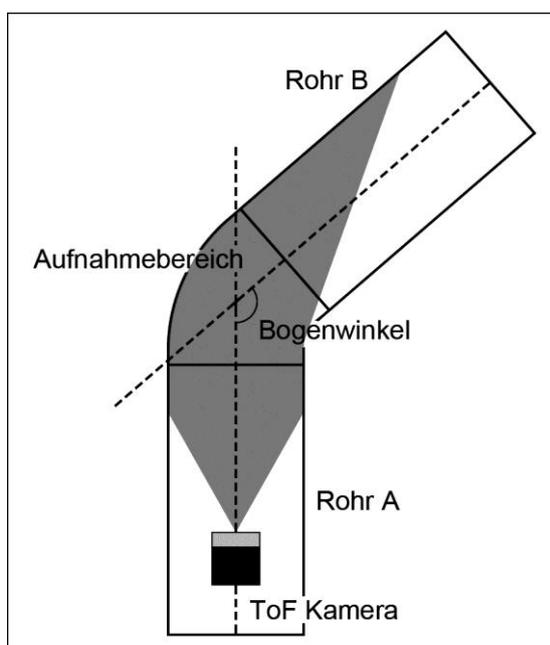


Abb. 19: Winkelbestimmung eines Bogens durch Verschneidung der Rohrachsen zweier Segmente [nach STRIEGL, 2016].

Vorteil, dass die Ergebnisse unabhängig von Messungen des INS sind. Die Ergebnisse der Schnittwinkelberechnung können in zukünftigen Filteralgorithmen verwendet werden, um die INS-Messungen bezüglich Plausibilität zu prüfen, zu verbessern oder eventuell sogar ganz zu ersetzen. Nachteilig ist jedoch, dass der Messbereich der ToF nur bei flachen Bögen die beiden Rohrabchnitte ausreichend erfassen kann.

In STRIEGL [2016] wurden erste Untersuchungen bezüglich der Genauigkeit der Bestimmung der Winkel von Bögen durchgeführt. Die Auswertung von Bögen mit großen Winkeln mittels RANSAC und der Hough-Transformation hat dabei ergeben, dass ihre Bestimmung in einer Genauigkeit von 2-3° möglich ist. Dieser Ansatz stellt somit eine weitere Möglichkeit zur Stabilisierung und Erhöhung der Genauigkeit bei der Dokumentation von Rohrsystemen dar.

Bestimmung der Wegstrecke zwischen zwei Aufnahmen einer ToF-Kamera

Grundlage für die Bestimmung von Wegstrecken mittels optischer Systeme ist die Aufnahme von identischen, prägnanten Geometrien in zwei Aufnahmen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten t_1 und t_2 . Das Ziel ist die Bestimmung der zurückgelegten Wegstrecke zwischen diesen beiden Zeitpunkten anhand prägnanter Geometrien durch ein Punktwolken-Matching. Verfahren wie zum Beispiel der Iterative Closest Point Algorithmus (ICP) [BESL et al., 1992] können hierzu Ansätze liefern. Als prägnante Geometrie kann ein am Ende eines geraden Rohrelementes befindlicher Bogen oder eine Abzweigung gewertet werden (Abb. 20).

Mittels der bestimmten äußeren Orientierung der Inspektionseinheit zur Rohrachse und dem Bezug zum lokalen Horizont, definiert durch das INS, werden die beiden Punktwolken so transformiert, dass die mittleren Rohrachsen der beiden Aufnah-

men identisch sind. Anschließend kann dann die Verschiebung bezüglich der prägnanten Geometrie mittels des ICP bestimmt werden. Die Verschiebung entspricht der zurückgelegten Wegstrecke der Inspektionseinheit zwischen den beiden Aufnahmen.

Durch Einsatz eines optischen Systems zur Bestimmung von zurückgelegten Wegstrecken im Rohr könnten in Zukunft Fehlmessungen aufgrund von Schlupfeffekten bei den verwendeten Odometern verhindert werden. Erste Versuche mit diesem Konzept erfolgten bei HARTUNG [2014] und haben die grundsätzliche Möglichkeit der Bestimmung von Wegstrecken mittels Aufnahmen einer ToF-Kamera bestätigt. In Zukunft müssen jedoch noch weitere Untersuchungen bezüglich der erreichbaren Genauigkeit bei der Wegstreckenbestimmung erfolgen.

5. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

Mit diesem Beitrag wird eine zusammenfassende Darstellung der Entwicklungsarbeiten des Geodätischen Labors und der Arbeitsgemeinschaft GIS der UniBwM zur Aufnahme und Dokumentation des dreidimensionalen Verlaufes von unterirdischen Abwasseranschlussleitungen vorgestellt. Bedingt durch die Unzugänglichkeit der Leitungsverläufe mit kleinen Rohrdurchmessern, geprägt durch Geradenstücke, Bögen und Abzweige, stellte die korrekte Rekonstruktion des Leitungsverlaufes eine Herausforderung dar. Die entwickelten Messsysteme haben sich nach umfangreichen Tests jedoch in der Praxis bereits seit Jahren bewährt und werden entsprechend von den Anwendern angenommen und eingesetzt.

Die Verlaufsvermessungssysteme ASYS und geoASYS sind in der Lage, während der TV-Inspektion von Grundstücksentwässerungsleitungen in Echtzeit die Geometrie und Topologie der Leitungsnetze in der erforderlichen Genauigkeit dreidimensional aufzunehmen und zu visualisieren. Darüber hinaus ist das System in der Lage, dieses erfasste Netz über definierte Schnittstellen an jedwede CAD's oder auch an Geoinformationssysteme zu übergeben. Die genau vermessene und damit darzustellende Lage und Höhe der Grundstücksentwässerungsleitungen, einschließlich der an die Leitungen angebotenen Untersuchungsdaten, gibt Planern/Sanierungsplanern die Möglichkeit, weitergehende Sanierungsansätze auf Grund der ganzheitlichen Betrachtungsweise (öffentlicher Kanal und Grundstücksentwässerungsleitung auf einer Plattform) zu berücksichtigen.

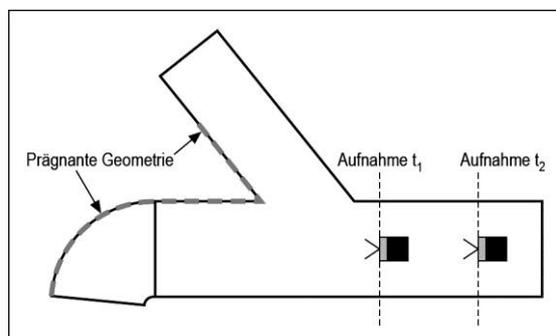


Abb. 20: Bogen oder Abzweigung als mögliche prägnante Geometrie (grau gerissen) in zwei Aufnahmen [nach STRIEGL, 2016].

Für das Vermessungssystem hakaSYS gilt zusammenfassend, dass es sich besonders für die dreidimensionale Vermessung von gekrümmten Haltungen sehr gut eignet, wobei die Genauigkeitsforderung kleiner als eine Haltungsbreite (wenige dm) bis zu einer Haltungslänge von 100 m eingehalten werden kann. Die sehr gute Reproduzierbarkeit sowie die Verwendung von Beobachtungen aus Hin- und Rückfahrt führen dabei zu zuverlässigen Ergebnissen, wodurch auf zeit- und kostenintensive Mehrfachbefahrungen verzichtet werden kann. Auch geradlinige und gering gekrümmte Haltungsverläufe lassen sich so erfassen, dass Übergänge zwischen Krümmungen und Geraden signifikant identifizierbar sind.

Wie bei Neuentwicklungen üblich, stehen natürlich Wünsche und Weiterentwicklungen an, die im Wesentlichen die weitere Steigerung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit vor allem bei längeren Leitungen betreffen. Hierzu konnten mit zusätzlicher Sensorik wie einer ToF-Kamera erfolgreiche Ansätze entwickelt werden.

6. Dank

Für die finanzielle Untertützung bei den Entwicklungsarbeiten für die dargestellten Ortungssysteme sei auch an dieser Stelle der Fa. JT-Elektronik in Lindau sowie dem Stadtentwässerungsbetrieb der Stadt Kassel (Kasseler Entwässerungsbetrieb, KEB) nochmals besonders gedankt.

Literatur / Quellen

- BAUER, Arno / HEISTER, Hansbert / REINHARDT, Wolfgang [2009]: geoASYS – ein System zur Dokumentation des Verlaufes von Grundstücksentwässerungsanlagen. Aufnahme und Dokumentation als Basis einer ganzheitlichen Betrachtung. – In: gwf Wasser | Abwasser, Heft 2-3/2009, S. 190-196. ISSN: 0016-3651
- BESL, Paul J. / MCKAY, Neil D. [1992]: A method for registration of 3-D shapes. – In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, Issue 2, S. 239-256. ISSN: 0162-8828 (Druck) ISSN: 2160-9292 (CD-ROM)
- BOLLES, ROBERT C. / FISCHLER, MARTIN A. [1981]: A RANSAC-based approach to model fitting and its application to finding cylinders in range data. – In: DRINAN, Ann (Hrsg.): IJCAI'81, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, BC, Canada, August 24-28, 1981, Vol. 2. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, S. 637-643. ISBN: 0-86576-059-4
- GÜNTHERT, F. Wolfgang [1999]: Ursachen von Schäden in Abwasserkanälen. – In: Wasser und Abfall, Heft 5/1999, S. 8-13. ISSN: 1436-9095 (Druck) ISSN: 2192-8754 (E-Version)
- HARTUNG, Maximilian [2014]: Genauigkeitsuntersuchung der Wegstreckenbestimmung in einem Rohrsystem aus Aufnahmen einer 3D-Kamera. Masterarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, unveröffentlicht.
- HEISTER, Hansbert / HÜMMER, Frank / REINHARDT, Wolfgang [2004]: Machbarkeitsstudie zum Aufbau eines Ortungssystems für Leitungsinspektion. Bericht. Fa. JT-Elektronik, Lindau.
- HEISTER, Hansbert / REINHARDT, Wolfgang [2007]: 3D-Dokumentation von Kanalanschlussleitungen. – In: CHESI, Günther / WEINOLD, Thomas (Hrsg.): 14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007. Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 31-39. ISBN: 978-3-87907-446-4
- HEISTER, Hansbert / REINHARDT, Wolfgang / GÜNTHERT, F. Wolfgang / CVACI, Darius [2007]: 3D-Dokumentation von Kanalanschlusskanälen und Grundstücksentwässerungsleitungen. – In: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall, Heft 6/2007, S. 584-588. ISSN: 1866-0029
- HOL, Jeroen D. / SCHÖN, Thomas B. / GUSTAFSSON, Fredrik / SLYCKE, Per J. [2006]: Sensor Fusion for Augmented Reality. – In: INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) (Hrsg.): 2006 9th International Conference on Information Fusion. Proceedings of a meeting held 10-13 July 2006, Florence, Italy. IEEE Service Center, Piscataway, 6 S. ISBN: 1-4244-0953-5
- HOUGH, Paul V. C. [1962]: Method and means for recognizing complex patterns. United States Patent US3069654 A.
- HÜMMER, Frank / KANDAWASVIKA, Admire / HEISTER, Hansbert [2013]: Ein neues Messsystem zur Verlaufsbestimmung von gekrümmten Haltungen. – In: 3R Technical journal for piping system integrity and efficiency, Heft 3/2013, S. 42-46.
- MOORE, Steven T. / MACDOUGALL, Hamish G. / GRACIES, Jean-Michel / COHEN, Helen S. / ONDO, William G. [2006]: Long-term monitoring of gait in Parkinson's disease. – In: Gait & Posture, Vol. 26, Issue 2, S. 200-207. ISSN: 0966-6362
- STRIEGL, Philipp [2016]: Genauigkeitsuntersuchungen zum Einsatz einer Time of Flight Kamera für die Vermessung von Grundstücksentwässerungsanlagen. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Universität der Bundeswehr München, 259 S. <http://athene-forschung.unibw.de/doc/114960/114960.pdf> – letzter Aufruf: 22.01.2018
- STRIEGL, Philipp / HEISTER, Hansbert / KANDAWASVIKA, Admire / REINHARDT, Wolfgang / RENTER, Jörg [2010]: Multisensorsystem geoASYS zur 3D-Kanaldokumentation. – In: WUNDERLICH, Thomas A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 10. Beiträge zum 16. Internationalen Ingenieurvermessungskurs, München, 2010. Wichmann Verlag, Berlin, S. 145-156. ISBN: 978-3-87907-492-1
- STRIEGL, Philipp / REINHARDT, Wolfgang / HEISTER, Hansbert / KANDAWASVIKA, Admire / HÜMMER, Frank [2012]: Multi-sensor based Surveying of House Drainage System – The

current state of the art. – In: 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2012), 13-15 November 2012, Sydney, Australia. IEEE, Piscataway, 4 S.
ISBN: 978-1-4673-1954-6

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. habil. HANSBERT HEISTER
Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
D-85577 Neubiberg
E-Mail: h.heister@unibw.de

Dipl.-Ing. FRANK HÜMMER
Rehhofstraße 54
D-90482 Nürnberg
E-Mail: frank.huemmer@online.de

Dr.-Ing. ADMIRE KANDAWASVIKA
AED-SICAD AG
Carl-Wery-Straße 22
D-81739 München
E-Mail: admire.kandawasvika@aed-sicad.de

Dr.-Ing. PHILIPP STRIEGL
Stadtwerke München
Emmy-Noether-Straße 2
D-80992 München

Spontanreprojektion in QGIS

Zusammenfassung

Geodaten unterschiedlicher Quellen haben häufig voneinander abweichende Koordinatenreferenzsysteme. Um solche Datenbestände in einem GIS nutzen zu können, muss es möglich sein, einen einzulesenden Datenbestand zu transformieren, damit in einem Projekt alle Daten einheitlich georeferenziert sind. Nach Vorstellung der beiden gängigen Methoden des Datumüberganges in einem GIS wird besprochen, wie dies in der Open Source Software QGIS realisiert ist. Für einen exemplarischen Datensatz werden die sich ergebenden Unterschiede der Transformationsvarianten gezeigt.

Summary

To make use of geo data from different sources and, therefore, often deviating coordinate reference systems of such data sets in a GIS, it must be possible to transform a data set to be imported so that in a project all data are georeferenced uniformly. After presenting the two common methods of datum transition in a GIS, it is discussed how this is implemented in the open source software QGIS. For an exemplary data set the resulting differences of transformation variants are shown.

1. Einleitung

Quantum-GIS, kurz QGIS, ist ein unter der General Public License (GNU) firmierendes Desktop-GIS. Basierend auf rein freiwilliger Mitarbeit ist es kostenfrei via Download verfügbar¹ und hat in den letzten Jahren aufgrund seiner Leistungsfähigkeit weite Verbreitung gefunden. Wie bei anderen GIS auch, verfügt QGIS über die obligatorische Option, Vektor- und Rasterdaten einzulesen und in ein Projekt einzufügen. Falls solche Geodaten in einem von dem Koordinatenreferenzsystem (engl.: Coordinate Reference System; CRS) – innerhalb von QGIS auch als Koordinatenbezugssystem (KBS) bezeichnet – des Projektes abweichenden Koordinatenbezug abgespeichert sind, ist für das Zusammenführen eine Koordinatentransformation vorzusehen. Bedingt durch Geodateninfrastrukturen, s. *GDI-DE [2017]*² und *INSPIRE [2018]*³, und dem damit einhergehenden, mannigfaltigen Angebot an Geodaten ist eine solche Möglichkeit der Koordinatentransformation in einem GIS mehr denn je unverzichtbar. Auch wenn durch den Bezugssystemwechsel zu ETRS89/UTM [*KREITLOW et al., 2010*] die amtlichen Geobasisdaten einheitlich referenziert vorliegen werden und alle geodatenhaltenden Stellen der öffentlichen Verwaltung verpflichtet sind, den amtlichen Raumbezug auch für ihre Fachdaten anzuwenden, wird es weiterhin von großer Bedeutung bleiben, Datenbestände

in einem vom ETRS89/UTM abweichenden CRS einbinden zu können, z. B. wenn ältere Datenbestände für Vergleichszwecke heranzuziehen sind.

Abbildung 1 skizziert unterschiedliche Geodatenquellen eines GIS, die neben einem Zugriff via Geoportal bzw. über das Internet auf Geobasis- und Geofachdaten einer GDI auch aus der Digitalisierung analoger Altunterlagen und aus eigenen Bestandsaufnahmen, insbesondere Vermessungen, bestehen können. Um in einem GIS zu Geodaten mit einer einheitlichen Georeferenzierung zu gelangen, gibt es die beiden etablierten Möglichkeiten eines Datumüberganges mit einer 3D-Helmert-Transformation und einer indirekten, gitterbasierten 2D-Transformation. Beide Varianten sind nachfolgend speziell für die Überführung von Datenbeständen im DHDN auf Basis von Gauß-Krüger-Koordinaten (EPSG Codes 31466/31467/31468), also den bisherigen amtlichen Koordinaten, nach ETRS89/UTM (EPSG Codes 25832/25833 ohne Angabe der Zonennummer beim Ostwert) besprochen. Innerhalb von QGIS gibt es beim Einlesen eines Datenbestandes hierfür die Option „Spontanreprojektion“ (SRP), an anderer Stelle heißt es auch „On-The-Fly-Projektion“. Weitere Transformationsvarianten, z. B. mittels einer 2D-Helmert-Transformation im Lokalen für den unmittelbaren Übergang von GK- zu UTM-Koordinaten, werden im Folgenden nicht betrachtet.

Ein Koordinatenreferenzsystem wird in *DIN 18709-6 [2016]* definiert als ein Satz von Parametern, der das Geodätische Datum und das Koordinatensystem umfasst. Dabei wird nicht, wie es in der

¹ siehe: <https://www.qgis.org/de/site>

² siehe: <http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE>

³ siehe: <https://inspire.ec.europa.eu>

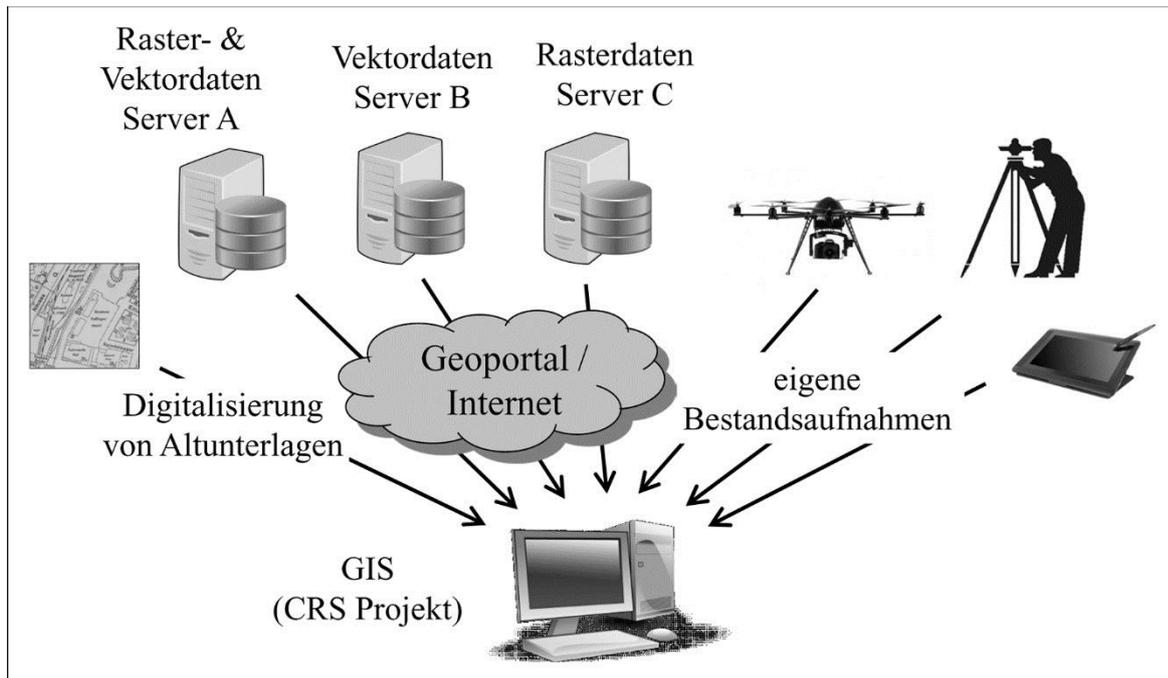


Abb. 1: Geodatenquellen bei einem GIS.

Geodäsie sonst üblich ist, zwischen Bezugssystem (Definitionen, die zur Bestimmung der Koordinaten von Punkten notwendig sind) und Bezugsrahmen (Realisierung eines Systems durch die Zuordnung von Koordinaten zu vermarkten Punkten) unterschieden. Unter (Koordinaten-)Konvertierung versteht DIN 18709-6 die Umrechnung von Koordinaten innerhalb desselben geodätischen Bezugsrahmens von einem Koordinatensystem in ein anderes, unter (Koordinaten-)Transformation die Umrechnung von Koordinaten von einem geodätischen Bezugsrahmen (Quellsystem) in einen anderen Bezugsrahmen (Zielsystem) mit Hilfe von Transformationsparametern und unter Kartenabbildung die Abbildung von Punkten auf einem Rotationsellipsoid oder einer Kugel (Urbild) in eine Ebene (Abbild) mit Hilfe von mathematischen Vorschriften. Letzteres wird in einem GIS im Regelfall als Projektion subsumiert, GK- und UTM-Koordinaten sind Beispiele für ein projiziertes metrisches CRS. Weiterhin findet man in DIN 18709-6 die Unterscheidung zwischen geographischen Koordinaten φ, λ auf der Kugel und ellipsoidischen Koordinaten B, L , was nachfolgend bei der Notation berücksichtigt wird. Großmaßstäbige Datenbestände setzen eine ellipsoidische Referenz voraus. Koordinatenbezugssysteme des Urbildes mit Längen- und Breitenangaben werden in einem GIS als geographische CRS bezeichnet.

2. Datumsübergang DHDN/GK nach ETRS89/UTM mittels 3D-Helmert-Transformation

Ureigenes und traditionelles geodätisches Mittel der Datumstransformation globaler kartesischer Koordinaten ist die 3D-Helmert-Transformation. Sind die Rotationen klein, ist mit den Winkelangaben in Radiant zu schreiben

$$\mathbf{x}_{ETRS89} = \mathbf{t} + (1 + \varepsilon) \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{x}_{DHDN}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ETRS89} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix} + (1 + \varepsilon) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & +e_x \\ +e_y & -e_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{DHDN}$$

worin $\mathbf{p} = (t_x \ t_y \ t_z \ e_x \ e_y \ e_z \ \varepsilon)$. [1 a]

Die Umkehrung der Beziehung [1 a] führt aufgrund der Orthogonalitätseigenschaft der Rotationsmatrix \mathbf{R} zu

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{DHDN} = (1 - \varepsilon) \cdot \begin{pmatrix} 1 & -e_z & +e_y \\ +e_z & 1 & -e_x \\ -e_y & +e_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{ETRS89} - t_x \\ Y_{ETRS89} - t_y \\ Z_{ETRS89} - t_z \end{pmatrix}. \quad [1 b]$$

Abweichend von der üblichen Form wird bei IHDE/LINDSTROT [1995] sowie auf der Internetseite des BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) der Ansatz

$$\mathbf{x}_{ETRS89} = \mathbf{t} + \mathbf{R} \cdot \mathbf{x}_{DHDN} + \varepsilon \cdot \mathbf{x}_{DHDN} \quad [1c]$$

aufgeführt, bei dem der Maßstab ε anders als in [1 a] additiv zur Drehung des Quellsystems berücksichtigt ist. [1 a] und [1 c] vergleichend für einen exemplarischen Punkt in München berechnet, führt zu dem Ergebnis, dass sich die Koordinatenkomponenten des transformierten Punktes im ETRS89 um weniger als 0,5 mm unterscheiden, was für GIS-Applikationen unerheblich ist.

Liegen als Ausgangsdaten GK-Koordinaten (Rechtswert, Hochwert) im DHDN, d. h. mit Bezug zum Bessel-Ellipsoid (Halbachsen: $a = 6377397,155$ m, $b = 6356078,965$ m), vor, die zu UTM-Koordinaten (East, North) im ETRS89, d. h. mit Bezug zum GRS80-Ellipsoid (Halbachsen: $a = 6378137,000$ m, $b = 6356752,314$ m), transformiert werden sollen, gestaltet sich das Verfahren zum Bezugssystemwechsel wie mit der Abb. 2 skizziert. Aus den zu transformierenden GK-Koordinaten $P(R,H)$ sind durch Inversion der Abbildungsgleichungen $P(B,L) \Rightarrow P(R,H)$ zunächst die ellipsoidischen Koordinaten $P(B,L)$ zu berechnen, also $P(R,H) \Rightarrow P(B,L)$.

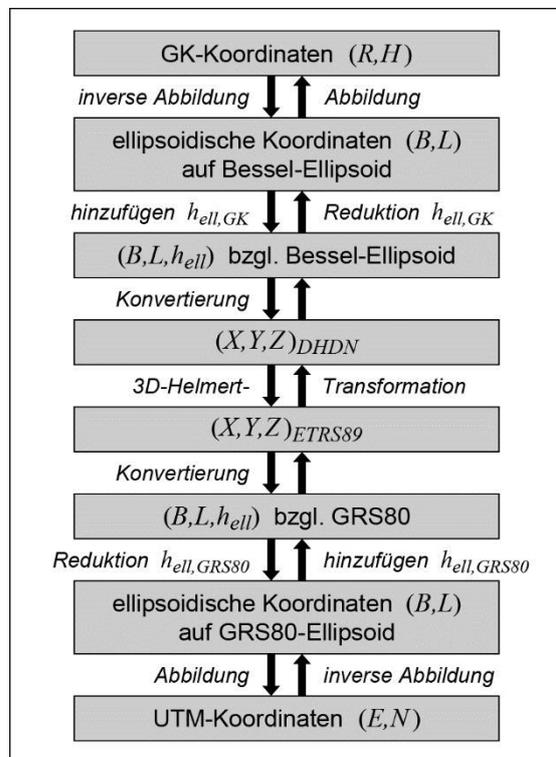


Abb. 2: Datumsübergang DHDN/GK zu ETRS89/UTM mit 3D-Helmert-Transformation und vice versa.

Mit [2] bis [4] sind die zu implementierenden Abbildungsgleichungen $P(B,L) \Rightarrow P(R,H)$ zusammengestellt. Die fundamentale Größe der Meridianbogenlänge berechnet sich zu [GROSSMANN, 1976, S. 17f.]

$$G = \int_0^B \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin^2 B)^{3/2}} dB \approx \frac{a}{1+n} \left(\left(1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64} + \dots \right) \cdot B - \frac{3}{2} \left(n - \frac{n^3}{8} - \dots \right) \cdot \sin 2B + \frac{15}{16} \left(n^2 - \frac{n^4}{4} - \dots \right) \cdot \sin 4B \right), \quad [2]$$

wobei $n = \frac{a-b}{a+b}$ eine Hilfsgröße und $e = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$ die erste numerische Exzentrizität sind. Mit der weiteren Hilfsgröße $\eta^2 = \frac{a^2-b^2}{b^2} \cdot \cos^2 B$, dem Querkrümmungshalbmesser $N_B = a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2 B)^{-1/2}$ sowie $\Delta L = L - L_0$ [rad], wobei L_0 der Bezugsmeridian eines Meridianstreifens ist, werden die Potenzreihen [GROSSMANN, 1976, S. 148]

$$x = G + \frac{N_B}{2} \cdot \cos^2 B \cdot \tan B \cdot \Delta L^2 + \frac{N_B}{24} \cdot \cos^4 B \cdot \tan B \cdot (5 - \tan^2 B + 9 \cdot \eta^2) \cdot \Delta L^4 + \dots \quad [3]$$

$$y = N_B \cdot \cos B \cdot \Delta L + \frac{N_B}{6} \cdot \cos^3 B \cdot (1 - \tan^2 B + \eta^2) \cdot \Delta L^3 + \frac{N_B}{120} \cdot \cos^5 B \cdot (5 - 18 \cdot \tan^2 B + \tan^4 B) \cdot \Delta L^5 + \dots$$

erhalten, aus denen die GK-Koordinaten mit ihrem Rechts- und Hochwert ($m_0 = 1$, Kennziffer = $\lambda_0/3$)

$$R = \text{Kennziffer} \cdot 10^6 + 500000 + y \cdot m_0 \quad [4]$$

$$H = x \cdot m_0$$

resultieren.

Die Umkehrung $P(R,H) \Rightarrow P(B,L)$ lautet mit der ellipsoidischen Breite B_f des Lotfußpunktes $x = G_f$, für die auch die Koeffizienten in [6] zu nehmen sind [vgl. SCHÖDLBAUER, 1981, S. 15; GROSSMANN, 1976, S. 151]:

$$B_f [\text{rad}] = s \cdot \left(\frac{3}{8} e'^2 - \frac{3}{16} e'^4 + \frac{213}{2048} e'^6 - \dots \right) \cdot \sin 2s + \dots$$

mit

$$s = \frac{x \cdot b}{a^2} \cdot \left(1 - \frac{3}{4} e'^2 + \frac{45}{64} e'^4 - \frac{175}{256} e'^6 + \frac{1125}{16384} e'^8 \right)^{-1} \quad [5]$$

$$B[\text{rad}] = B_f - \frac{\tan B_f}{2 N_{B_f}^2} \cdot (1 + \eta_f^2) \cdot y^2 + \frac{\tan B_f}{24 N_{B_f}^4} \cdot (5 + 3 \tan^2 B_f + 6 \eta_f^2 - 6 \eta_f^2 \cdot \tan^2 B_f) \cdot y^4 + \dots \quad [6]$$

$$L[\text{rad}] = L_0 + \frac{1}{N_{B_f} \cdot \cos B_f} \cdot y - \frac{1 + 2 \tan^2 B_f + \eta_f^2}{6 N_{B_f}^3 \cdot \cos B_f} \cdot y^3 + \frac{5 + 28 \tan^2 B_f + 24 \tan^4 B_f}{120 N_{B_f}^5 \cdot \cos B_f} \cdot y^5 + \dots$$

Hierbei ist $e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$ die zweite numerische Exzentrizität. In *ADV [2012]* sind in Teilen andere Potenzreihenentwicklungen bezüglich $P(B, L) \Rightarrow P(R, H)$ und $P(R, H) \Rightarrow P(B, L)$ zu finden als mit [2], [3], [5] und [6] angegeben. Nach Hinzufügen der ellipsoidischen Höhe h_{ell} zu dem Ergebnis [6] erfolgt die Konvertierung der krummlinig-orthogonalen Koordinaten $P(B, L, h_{ell})$ in die kartesischen Koordinaten $P(X, Y, Z)$:

$$P(B, L, h_{ell}) \Rightarrow P(X, Y, Z) \quad [7]$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N_B + h_{ell}) \cdot \cos B \cdot \cos L \\ (N_B + h_{ell}) \cdot \cos B \cdot \sin L \\ ((1 - e^2) \cdot N_B + h_{ell}) \cdot \sin B \end{pmatrix}$$

Nach der Datumstransformation [1] wird die Umkehrung [*TORGE, 1991, S. 49*]

$$\tan L = Y \cdot X^{-1}$$

Iteration mit Startwert $h_{ell} = 0$ m

$$P(X, Y, Z) \Rightarrow P(E, N, h_{ell}) \quad [8]$$

$$\tan B = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \cdot \left(1 - \frac{e^2 \cdot N_B}{N_B + h_{ell}} \right)^{-1}$$

$$h_{ell} = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - N_B$$

benötigt, um, nach Abspalten der neuen ellipsoidischen Höhe $h_{ell,GRS80}$, mit den Abbildungsglei-

chungen [3] im ETRS89 zu x, y zu gelangen. Sowohl die GK- [*vgl. DIN 18709-6, 2010, Nr. 5.4.6*] als auch die UTM-Koordinaten [*vgl. DIN 18709-6, 2010, Nr. 5.4.10*] basieren auf einer transversalen Mercatorabbildung, die sich letztlich nur durch den Abbildungsmaßstab m_0 des Bezugsmeridians und die Zählweise sowie die Breite der Streifen bzw. Zonen unterscheiden. Die gesuchten UTM-Koordinaten mit ihrem Ost- und Nordwert lauten schließlich unter Berücksichtigung von $m_0 = 0,9996$ (Verkürzung des Bezugsmeridians) und einer Zonenziffer, die sich durch Zählweise der 6°-breiten Zonen in Richtung Osten bei der Datumsgrenze beginnend ergibt:

$$E = \text{Zonenziffer } 10^6 + 500000 + y \cdot m_0 \quad [9]$$

$$N = x \cdot m_0$$

Da bei GIS-Anwendungen oftmals keine Informationen über die Höhen von Punkten vorliegen, stellt sich die Frage, wie sich diesbezügliche Vernachlässigungen (siehe Abb. 3 zum Einfluss auf die ellipsoidische Breite B im Meridianschnitt) im Ergebnis $P(E, N, h_{ell})$ bemerkbar machen. Ermittelt man für das in Tab. 1 gezeigte Beispiel eines Punktes in München, Nordturm Frauenkirche, die Differential- respektive Differenzenquotienten, so ergibt sich:

$$\frac{\partial E}{\partial h_{ell,GK}} \approx \frac{\Delta E}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ;$$

$$\frac{\partial N}{\partial h_{ell,GK}} \approx \frac{\Delta N}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{1,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ; \quad [10a]$$

$$\frac{\partial h_{ell,GRS80}}{\partial h_{ell,GK}} \approx \frac{\Delta h_{ell,GRS80}}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} .$$

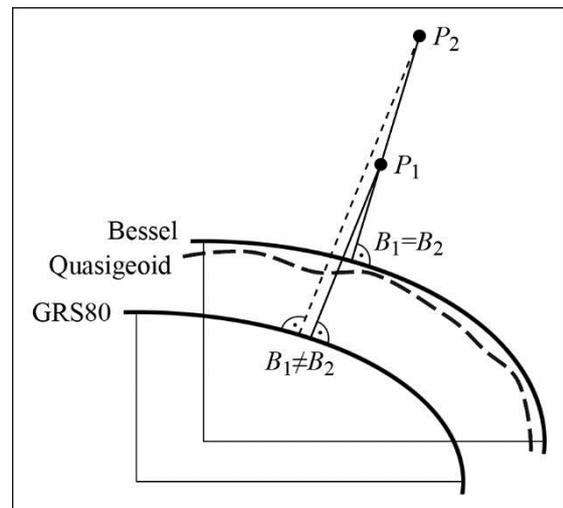


Abb. 3: Einfluss der Höhe eines Punktes beim Datumsübergang mittels 3D-Helmert-Transformation im Meridianschnitt.

Tab. 1: Änderungen von E , N und $h_{ell,GRS80}$ bei Variation von $h_{ell,DHDN}$; Beispiel Frauenkirche München

$h_{ell,DHDN}$ [m]	E [m]	N [m]	$h_{ell,GRS80}$ [m]
0	32691411,6805	5334915,7563	51,9733
500	,6840	,7644	551,9767
1000	,6874	,7726	1051,9801
1500	,6909	,7807	1551,9834
2000	,6944	,7889	2051,9868
2500	,6978	,7970	2551,9901
3000	,7013	,8052	3051,9934

Entsprechend wird, um den Effekt auch für andere Regionen in Deutschland abschätzen zu können, für Aachen ($E = 32294000$; $N = 5631000$; 2. Meridianstreifen bei GK; $\zeta \approx 46,22$ m)

$$\frac{\Delta E}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{-0,1 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ;$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{2,2 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ; \quad [10b]$$

$$\frac{\Delta h_{ell,GRS80}}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,6 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ,$$

für Flensburg ($E = 32527000$; $N = 6071000$; 3. Meridianstreifen bei GK; $\zeta \approx 40,08$ m)

$$\frac{\Delta E}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,4 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ;$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{2,9 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ; \quad [10c]$$

$$\frac{\Delta h_{ell,GRS80}}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ,$$

und für Dresden ($E = 33413600$; $N = 5660500$; 4. Meridianstreifen bei GK; $\zeta \approx 43,17$ m)

$$\frac{\Delta E}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{1,2 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ;$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{1,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ; \quad [10d]$$

$$\frac{\Delta h_{ell,GRS80}}{\Delta h_{ell,GK}} \approx \frac{0,7 \text{ mm}}{100 \text{ m}} ,$$

erhalten. Ergebnis ist, dass die Berücksichtigung der Höhe bei einer Transformation nach Abb. 2 bei GIS-Anwendungen bundesweit von nachrangiger Bedeutung ist. Dabei kann auch die Höhenanomalie,

die in der Münchener Innenstadt etwa $\zeta \approx 45,66 \text{ m}^4$ beträgt beträgt und innerhalb Deutschlands in den Grenzen $\zeta \approx 35 \text{ m}$ im Nordosten und $\zeta \approx 51 \text{ m}$ im Südwesten liegt, vernachlässigt werden. Trotzdem ist eine Zentimetergenauigkeit bei der Transformation zu erreichen. Eine nähere Betrachtung vertikaler Referenzsysteme braucht an dieser Stelle also nicht zu erfolgen.

Für die 3D-Helmert-Transformation von DHDN, Version 2001, zum ETRS89 (EPSG Code 1776 unabhängig vom Meridianstreifensystem) wird standardmäßig – so etwa auch in QGIS – der Parametervektor

$$\mathbf{p} = (t_x = 598,1 \text{ m} \quad t_y = 73,7 \text{ m} \quad t_z = 418,2 \text{ m}$$

$$e_x = -0,202'' \quad e_y = -0,045'' \quad e_z = +2,455''$$

$$\varepsilon = 6,70 \text{ ppm}) \quad [11a]$$

verwendet. Diese für das gesamte Bundesgebiet gültigen Parameter sind aus 109 identischen Punkten durch das BKG ermittelt worden⁵ [BKG, 2012]. Um den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Koordinaten eines zu transformierenden Punktes $P(E, N, h_{ell})$ abschätzen zu können, ergeben sich am Beispiel der Frauenkirche die Differenzenquotienten der Tab. 2. So bedeutet etwa eine Variation von $t_x = +0,1 \text{ m}$ in München für den Ostwert bereits eine Veränderung von $-17,6 \text{ mm}$ und für den Nordwert eine Veränderung von $-73,6 \text{ mm}$ und z. B. eine Variation $\varepsilon = +0,1 \text{ ppm}$ für die Höhe eine Veränderung von $636,6 \text{ mm}$. Zwar bleibt für einen Datensatz die Ähnlichkeit erhalten, eine passgenaue Transformation im Bereich Dezimeter für das Zusammenführen mit anderen Datensätzen nach dem in Abb. 2 dargestellten Ansatz kann jedoch nicht erreicht werden, sobald man den Parametern eine Unschärfe von $\Delta t \approx 0,1 \text{ m}$, $\Delta e \approx 0,001''$ und $\Delta \varepsilon \approx 0,1 \text{ ppm}$ zubilligt. Seitens des BKG [2014]⁶ findet sich zum EPSG Code 1776 der Hinweis: „for applications with an accuracy at 3 m level“. Verschiedene Studien zeigen jedoch, dass dies eine eher konservative Abschätzung für die mit [11 a] zu erreichende Genauigkeit einer Transformation darstellt.

Grundsätzlich entscheiden neben der Ausdehnung des zu transformierenden Gebietes die Anzahl, Verteilung und Koordinatenqualität der identischen Punkte über die zu erreichende Genauigkeit einer Datumstransformation. Neben dem für das Bundesgebiet optimierten Parametersatz [11 a] gibt es regionalisierte Parametersätze, für die alten Bundesländer unterteilt in die Bereiche Nord ($B > 52,3^\circ\text{N}$, 21 identische Punkte, EPSG Code 1780) mit

⁴ Diese Höhenanomalie kann online berechnet werden: <https://gibs.bkg.bund.de/geoid/gscmp.php?p=g>

⁵ siehe: <http://crs.bkg.bund.de>

⁶ siehe: <http://www.crs-geo.eu>

Tab. 2: $\frac{\Delta P}{\Delta p}$ beim Übergang DHDN nach ETRS89 am Beispiel Frauenkirche München auf Basis p nach [11 a].

	Δt_x [m/1°m]	Δt_y [m/1°m]	Δt_z [m/1°m]	Δe_x [m/1"]	Δe_y [m/1"]	Δe_z [m/1"]	$\Delta \varepsilon$ [m/1 ppm]
ΔE	-0,1762	0,9841	-0,0224	-22,6461	-3,5861	-20,6661	0,0007
ΔN	-0,7360	-0,1165	0,6670	5,4357	-30,3743	-0,6943	-0,0210
Δh_{ell}	0,6537	0,1338	0,7447	0,0230	-0,1070	-0,0070	6,3655

$$p = (t_x = 590,5 \text{ m} \quad t_y = 69,5 \text{ m} \quad t_z = 411,6 \text{ m} \\ e_x = -0,796'' \quad e_y = -0,052'' \quad e_z = +3,601'' \\ \varepsilon = 8,30 \text{ ppm}) \quad [11 b]$$

Mitte ($52,3^\circ N > B > 50,3^\circ N$, 27 identische Punkte, EPSG Code 1779) mit

$$p = (t_x = 584,8 \text{ m} \quad t_y = 67,0 \text{ m} \quad t_z = 400,3 \text{ m} \\ e_x = -0,105'' \quad e_y = -0,013'' \quad e_z = +2,378'' \\ \varepsilon = 10,29 \text{ ppm}) \quad [11 c]$$

und Süd ($B < 50,3^\circ N$, 41 identische Punkte, EPSG Code 1778) mit

$$p = (t_x = 597,1 \text{ m} \quad t_y = 71,4 \text{ m} \quad t_z = 412,1 \text{ m} \\ e_x = -0,894'' \quad e_y = -0,068'' \quad e_z = +1,563'' \\ \varepsilon = 7,58 \text{ ppm}) \quad [11 d]$$

Für diese bereichsweisen Transformationen findet sich der Hinweis: „for applications with an accuracy at submeter level“. Weitere regionalisierte Parametersätze existieren für die neuen Bundesländer.

3. Datumsübergang DHDN/GK nach ETRS89/UTM mittels gitterbasierter Transformation

Basierend auf dem international verwendeten, als Open Source verfügbaren und auch in vielen GIS-Programmen realisierten Ansatz „National Transformation Version 2“ (NTv2) wird der Datumsübergang mit Hilfe einer regelmäßigen, das Gebiet umfassenden Gitterdatei vollzogen. An jedem Gitterpunkt werden die Lagedifferenzen der ellipsoidischen Koordinaten, hier zwischen DHDN und ETRS89, die sogenannten Shiftwerte, gespeichert. Dadurch bedingt sind die projizierten GK-Koordinaten in ellipsoidische Koordinaten $P(B, L)_{DHDN}$ und im Anschluss die transformierten ellipsoidischen Koordinaten $P(B, L)_{ETRS89}$ nach UTM umzurechnen. Die Transformation selbst erfolgt durch eine bilineare Interpolation der umliegenden vier Gitterpunkte eines Punktes N , siehe Abb. 5. Angaben zu den Höhen der Punkte werden nicht benötigt.

Die Genauigkeit der Transformation ist abhängig von der Maschengröße des achsparallelen Gitters und der Qualität der ermittelten Shiftwerte sse , ssw , sne und snw nach Breite und Länge je Masche. Abbildung 4 zeigt das generelle Vorgehen.

Für eine bundeseinheitliche Transformation geotopographischer Datenbestände stellt die Adv⁷ die Gitterdatei BeTA2007 (EPSG Code 15948, ASCII als *.gsa oder binär als *.gsb) zur Verfügung, die

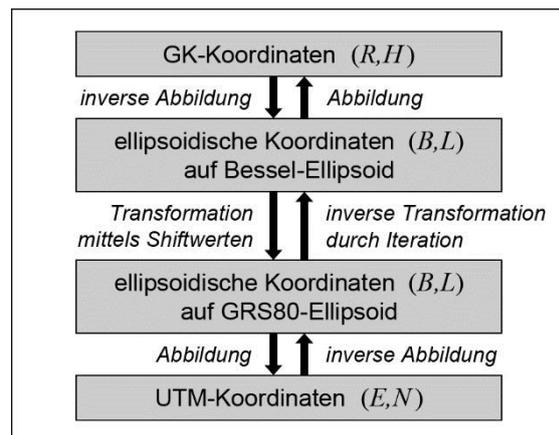


Abb. 4: Datumsübergang DHDN/GK zu ETRS89/UTM mittels gitterbasierter Transformation.

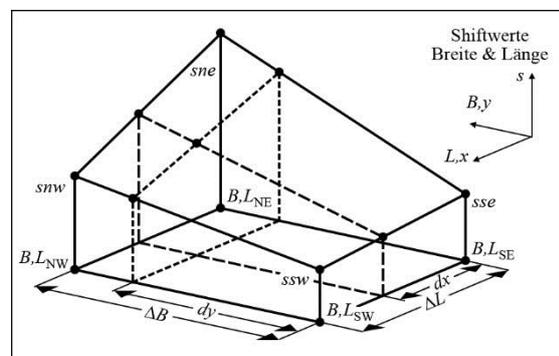


Abb. 5: Bilineare Transformation von N mittels Shiftwerten.

⁷ <http://www.adv-online.de>

eine Gitterweite von $6' \times 10'$ ($\cong 11 \text{ km} \times 11 \text{ km}$; entspricht dem TK25 Blattschnitt) hat, 5.208 Gitterpunkte umfasst und den Datumswechsel mit Submetergenauigkeit gewährleistet [ADV, 2012]. Die Konizität einer Masche im Urbild durch die Konvergenz der Meridiane beträgt in Abhängigkeit von B ca. 25 m und wird bei einer verebneten, kartesischen Betrachtung vernachlässigt. Die Speicherung der Shiftwerte in der Datei erfolgt zeilenweise, beginnend in der SE- und abschließend mit der NW-Ecke des umschlossenen Gebietes und alle Winkelangaben erfolgen in Sekunden, z. B. die Gitterweite bei BeTA2007 mit $\Delta B = 360''$ und $\Delta L = 600''$.

Im Header wird festgelegt, welcher Bezugssystemwechsel mit den Shiftwerten geleistet wird und wie dabei die Ellipsoidparameter a, b definiert sind. Neben einem Parent Grid, welches das gesamte Gebiet umschließt, kann es Sub Grids unterschiedlicher Gitterweite zur Verdichtung geben. Dies reduziert sowohl den Aufwand für die Bestimmung der Shiftwerte auf die jeweiligen Teilgebiete und letztendlich auch die Dateigröße. Um für die Rücktransformation keine separate Gitterdatei vorhalten zu müssen, ist bei $P(B, L)_{ETRS89} \Rightarrow P(B, L)_{DHDN}$ iterativ vorzugehen.

Für einen zu transformierenden, bereits in ellipsoidischen Koordinaten vorliegenden Punkt $N(B, L)_{DHDN}$ werden durch die Integerabfragen ($B_S =$ Südgrenze des Gitters, $L_E =$ Ostgrenze des Gitters, siehe die Abb. 6) [ADV, 2012, S. 9f.]

$$row = INT\left(\frac{1}{\Delta B}(B_N - B_S)\right), \quad [12a]$$

$$col = INT\left(\frac{1}{\Delta L}(L_N - L_E)\right)$$

die Zeilen- und Spaltennummer der Masche ermittelt, in der der Punkt N liegt. Bezeichnet ppr

die bekannte Anzahl der Spalten und ppc die bekannte Anzahl der Zeilen des Gitters, sind die Indizierungen der vier Eckpunkte der Masche in der Gitterdatei

$$SE = row \cdot ppr + col, \quad SW = SE + 1, \quad [12b]$$

$$NE = SE + ppr, \quad NW = NE + 1.$$

Ferner erhält man mit

$$dy = \frac{1}{\Delta B}(B_N - B_S) - row, \quad [12c]$$

$$dx = \frac{1}{\Delta L}(L_N - L_E) - col$$

normierte Koordinaten innerhalb der Masche, in der N liegt. Die Interpolation mit den Shiftwerten sse, ssw, sne und snw ist dann mit

$$sv = (1 - dx) \cdot (1 - dy) \cdot sse + dx \cdot (1 - dy) \cdot ssw + (1 - dx) \cdot dy \cdot sne + dx \cdot dy \cdot snw \quad [12d]$$

separat für die Breite (Shiftwerte s_B) und für die Länge (Shiftwerte s_L) durchzuführen (siehe Abb. 5 und 6). Der durch Anbringen der beiden Offsets – auch als punktindividuelle Translationen zu bezeichnen – bestimmte Punkt $N(B, L)_{ETRS89}$ ist abschließend in die UTM-Abbildungsebene zu projizieren (siehe [5] und [6]).

Eine vorab zu erzeugende Gitterdatei stützt sich auf identische Punkte in beiden Systemen, deren Koordinaten im Grundsatz über eine 3D-Helmert-Transformation mit Restklaffenverteilung und anschließender Interpolation der Gitterpunkte seitens der Vermessungsbehörden ermittelt werden [vgl. DONAUBAUER/KOLBE, 2016]. Die Tab. 3 zeigt für einige Bundesländer den gewählten NTV2-Ansatz

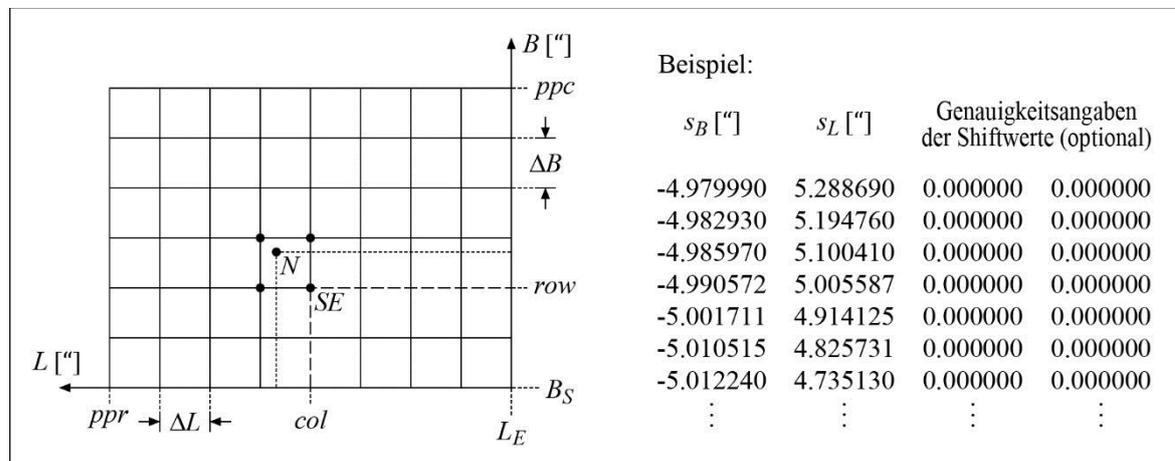


Abb. 6: Ermittlung der Masche für $N(B, L)_{DHDN}$ und Zuordnung der Eckpunkte aus der Gitterdatei.

Tab. 3: NTV2-Dateien in exemplarischen Bundesländern.

Bundesland	Dateiname	Gitterweite $\Delta B \times \Delta L$	ca. Gitterweite [m]	Anzahl Gitterpunkte
Baden-Württemberg	BWTA2017	1,5" x 2,5"	46 x 50	ca. 24,3 Mill.
Bayern	BY-KanU	1" x 1"	30 x 20	z. Zt. Testdaten
Berlin	Ntv2Berlin	36" x 36"	1100 x 680	3458
Bremen	HBTa2010	5" x 8"	154 x 148	45702
Hessen	HeTA2010	8" x 12"	246 x 246	ca. 1,0 Mill.
Sachsen	NTv2_SN	4" x 6"	123 x 113	ca. 2,2 Mill.
Saarland	SeTa2009	4" x 6"	123 x 123	ca. 0,3 Mill.

mit dem wesentlichen Ziel, für die Migration von Fachinformationssystemen eine Katastergenauigkeit von < 2-3 cm zu erreichen. Dabei bleibt festzuhalten, dass die Überführung des Liegenschaftskatasters zu netzspannungsarmen und damit homogenen Koordinaten im ETRS89/UTM von jedem Bundesland individuell vollzogen wird, in Bayern etwa mit dem Projekt KanU („Kataster nach UTM“) [HAMPP/GLOCK, 2017]. Dies ist auch dadurch begründet, dass jedes Bundesland eine unterschiedliche Realisierung des alten, zu überführenden Bezugssystems im Kataster besitzt.

4. Einlesen von Geodaten in QGIS

Für die Referenzierung von Geodaten beim Einlesen in QGIS wird, wie z. B. auch bei MapServer, die Open Source Bibliothek PROJ.4 verwendet. PROJ.4 – maßgeblich entwickelt von G. EVENDEN am US Geological Survey – läuft unter der MIT-Lizenz (Massachusetts Institute of Technology), die eine Wiederverwendung in anderer Software erlaubt. Um die Quell- und Zielsysteme sowie die bei der Transformation verwendeten Methoden und Parameter besser und leichter identifizieren zu können, ist der EPSG Code hinterlegt. Dabei handelt es sich um ein von der European Petroleum Survey Group Geodesy⁸ [IOGP, 2018] entwickeltes System 4- bis 5-stelliger Schlüsselnummern für CRS. Jeder Vektor- und Rasterdatensatz in QGIS hat und behält sein eigenes CRS. Der On-The-Fly-Rechenaufwand für eine Transformation für eine gemeinsame Darstellung beeinträchtigt die Performance des Systems praktisch nicht. Daneben ist für jedes Projekt ein übergeordnetes CRS festzulegen.

Für eine exemplarische Betrachtung sind im Folgenden die Testdaten des Liegenschaftskatasters der bayerischen Vermessungsverwaltung für die

Ortslage Thierhaupten, Schwaben, herangezogen. Dabei handelt es sich um Vektordaten (shapes), die als GK-Koordinaten im DHDN, 4. Meridianstreifen, referenziert sind⁹. Benutzt sind, um einen Punkthaufen zu betrachten, allein die Gebäudeeckpunkte. Zunächst wurde in QGIS als Projekt-CRS der zukünftige Standard ETRS89/UTM, Zone 32N (EPSG Code 25832) festgelegt, also mit der Syntax von PROJ.4 im Menüpunkt „Projekteigenschaften“:

```
+proj      = utm +zone = 32 +ellps =
            = GRS80 +towgs84 =
            = 0,0,0,0,0,0,0 +units = m
            +no_defs .
```

In das QGIS-Projekt wurden neben einer eingebundenen Kartengrundlage in Form des WebAtlasDE¹⁰ [BKG, 2018] als Web Map Service (WMS) die Gebäudeeckpunkte des Testdatensatzes mit den folgenden Optionen für den Datumsübergang nacheinander eingelesen:

1. Helmert-Transformation mit dem Parametervektor \mathbf{p} nach [11 a] für das gesamte Bundesgebiet

```
+proj      = tmerc +lat_0 = 0 +lon_0 =
            = 12 +k = 1 +x_0 =
            = 4500000 +y_0 =
            = 0 +ellps = bessel
+towgs84  = 598.1,73.7,418.2,0.202,0.045,
            -2.455,6.7 +units
            = m +no_defs .
```

2. Helmert-Transformation mit dem regionalisierten Parametervektor \mathbf{p} nach [11 d] für Süddeutschland:

```
+proj      = tmerc +lat_0 = 0 +lon_0 =
            = 12 +k = 1 +x_0 =
            = 4500000 +y_0 =
            = 0 +ellps = bessel
```

⁹ siehe: <https://ldbv.bayern.de/service/testdaten.html>

¹⁰ siehe: <http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz?l=webatlasde>

⁸ <http://www.epsg.org>

```
+towgs84 = 597.1,71.4,412.1,0.894,0.068,
          -1.563,7.58 +units =
          = m +no_defs .
```

3. Gitterbasierte Transformation mit dem bundesweiten Datensatz BeTA2007 für geotopographische Daten:

```
+proj      = tmerc +lat_0 = 0 +lon_0 =
          = 12 +k = 1 +x_0 =
          = 4500000 +y_0 = 0 +ellps =
          = bessel +datum = potsdam
```

```
+nadgrids = BETA2007.gsb +units =
          = m +no_defs .
```

4. Gitterbasierte Transformation mit dem Datensatz KanU, Regierungsbezirk Schwaben, konzipiert für die bayerischen Daten des Liegenschaftskatasters:

```
+proj      = tmerc +lat_0 = 0 +lon_0 =
          = 12 +k = 1 +x_0 =
          = 4500000 +y_0 = 0 +ellps =
          = bessel +datum=potsdam
```

```
+nadgrids = KanU_Schwaben.gsb +units =
          = m +no_defs .
```

Die jeweils erste Zeile spezifiziert DHDN/GK im 4. Meridianstreifen als CRS der eingelesenen Daten. In der zweiten Zeile beinhaltet `+towgs84` (bei sieben genannten Werten in der Aufzählung) die Parameter einer 3D-Helmert-Transformation gegenüber dem WGS84, während `+nadgrids` auf die Datei verweist, die zu einer gitterbasierten Transformation herangezogen werden soll. Zur näheren Beschreibung der Bedeutung der Parameterliste von PROJ.4 siehe *EVENDEN [2017]*.

Der Transformationsansatz mit dem Parametervektor p nach [11 d] ist in der hinterlegten Projektionsdatenbank bei PROJ.4 standardmäßig nicht vorgesehen, kann aber durch die Definition eines Benutzerkoordinatensystems ergänzt werden. Ebenso sind die Gitterdateien, z. B. `BeTA2007.gsb`, in ein dafür vorgesehenes Verzeichnis zu laden und entsprechende Benutzerkoordinatensysteme sind, wie unter 3. und 4. aufgeführt, zu vereinbaren.

Für den transformierten Punkthaufen der Gebäudeeckpunkte ergeben sich somit vier Lösungen, die auf ihre Unterschiede hin betrachtet werden. Die Abb. 7 zeigt zunächst einen größeren Ausschnitt bei guter Übereinstimmung mit dem WebAtlasDE.

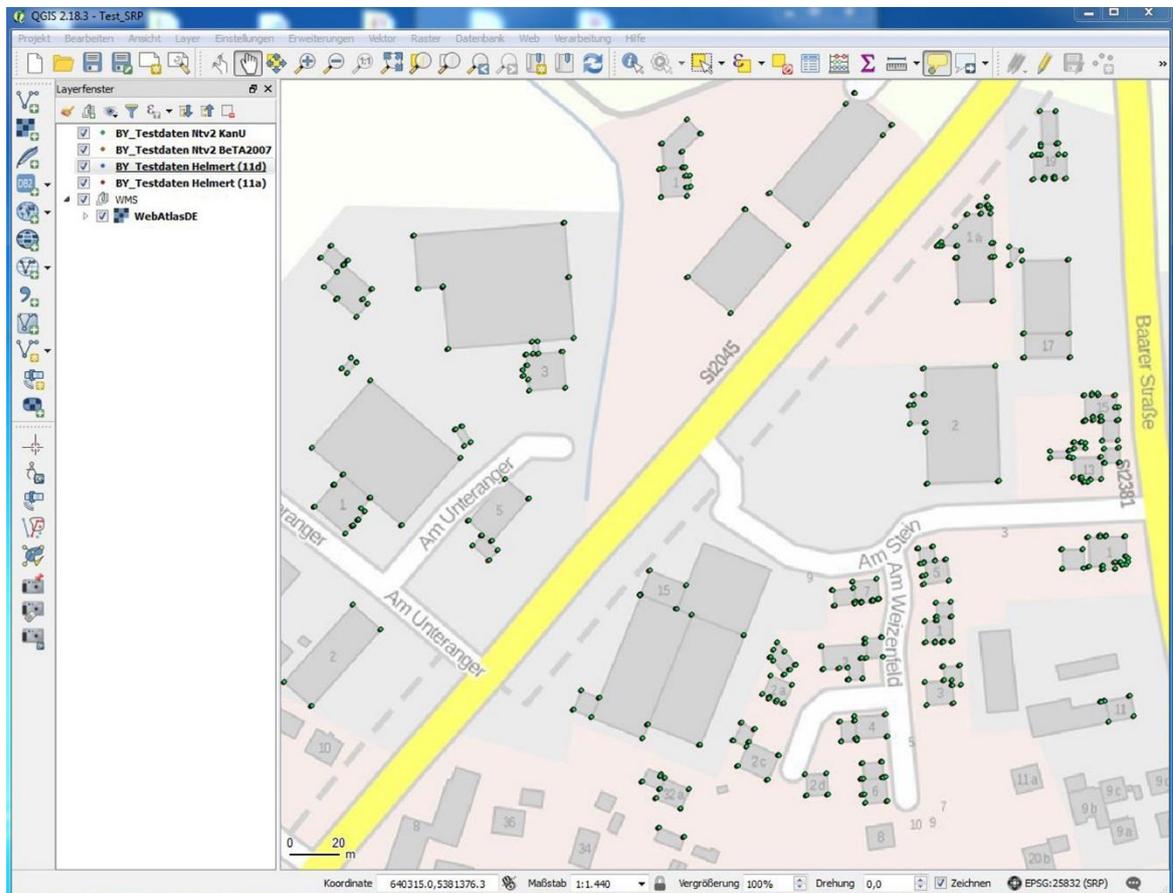


Abb. 7: ScreenShot QGIS mit transformierten Testdaten der Gebäudeeckpunkte.

Rechts unten ist das festgelegte Projekt-CRS als EPSG:25832 angegeben, mit dem Hinweis, dass für das Projekt die Spontanprojektion (SPR) aktiv geschaltet ist. Andernfalls ist das Einlesen von Daten mit einer abweichenden Georeferenzierung nicht ohne weiteres möglich. Daneben gibt es auch die Optionen „*Spontanprojektion automatisch aktivieren, wenn die Layer unterschiedliche KBS haben*“ und „*Datumstransformation erfragen, wenn keine Vorgabe definiert ist*“, die sich auf einzelne Datensätze beziehen. Deaktiviert man diese Optionen, wird bei jedem Starten eines Projektes in QGIS zu jedem Layer nachgefragt, wie die CRS transformiert werden sollen.

Erst durch Zoomen auf eines der Gebäude werden die Unterschiede der vier Transformationsansätze visuell erkennbar. Wie aus der Abb. 8 anhand der Regelmäßigkeit der Abweichungen zu erkennen ist, reicht es für die Quantifizierung der Unterschiede aus, nur noch einen transformierten Punkt im Detail zu betrachten. Dazu wird in Abb. 9 der WebAtlasDE-Kartenhintergrund ausgeblendet

und es ist nur noch ein exemplarischer Punkt dargestellt.

Mit der Messfunktion in QGIS ergeben sich die in Tab. 4 wiedergegebenen Abstände der Punktlagen zwischen den vier Lösungen. Auffällig ist, dass eine 3D-Helmert-Transformation mit dem in QGIS standardmäßig verwendeten Parametervektor [11 a] – in den Abb. 8 und 9 mit einem roten Punkt dargestellt – gegenüber den anderen Lösungen die größte Abweichung von ca. 0,6-0,7 m hat. Jedoch ist Submetergenauigkeit gegeben, wenn man davon ausgeht, dass die Lösung mit KanU Katastergenauigkeit erreicht. Eine 3D-Helmert-Transformation mit regional angepassten Parametern (blauer Punkt) nähert sich den beiden gitterbasierten Varianten besser als 0,2 m an und die beiden Ntv2-Lösungen mittels BeTa2007 und KanU weichen um ca. 0,1 m voneinander ab. Diese Aussagen gelten für den Testdatensatz der Ortslage Thierhaupten der bayerischen Vermessungsverwaltung. Untersuchungen mit anderen Testdatensätzen in Bayern oder in anderen Bundesländern können entsprechend durchgeführt werden.

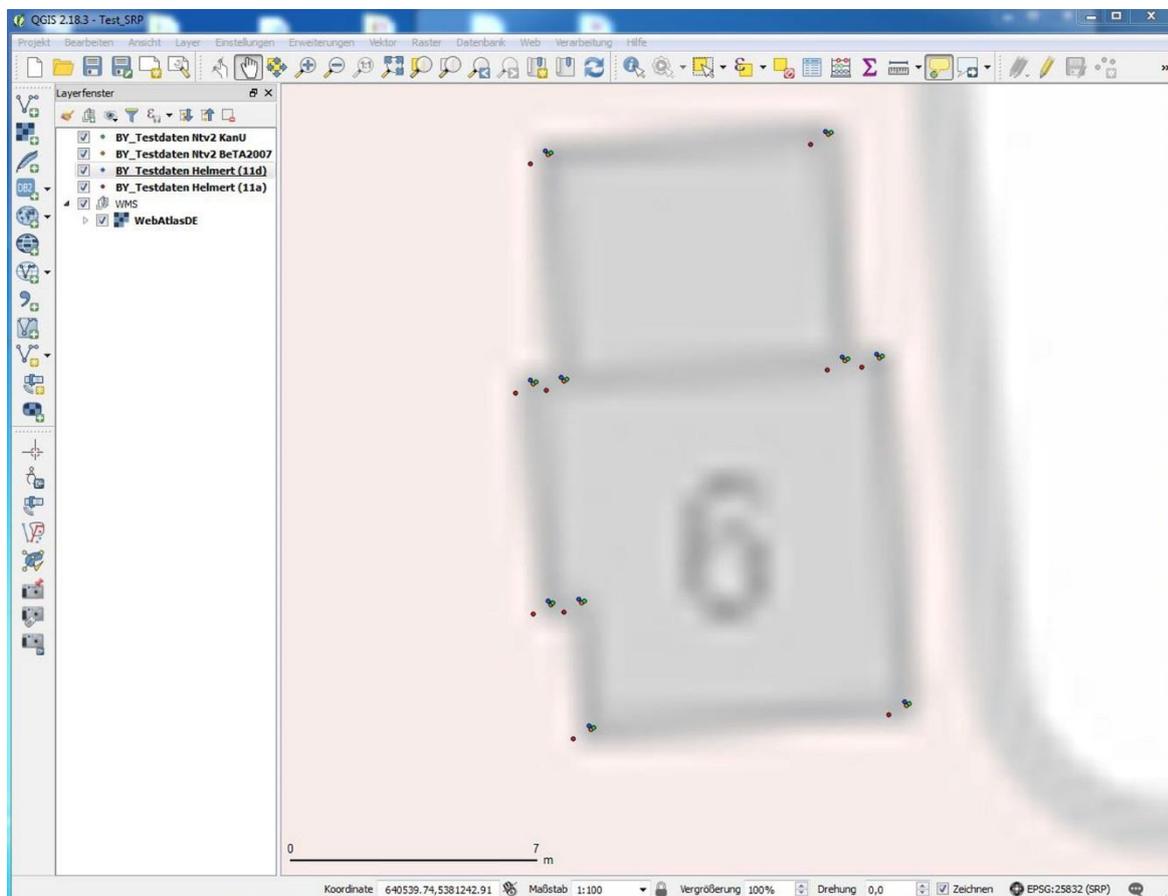


Abb. 8: ScreenShot QGIS mit dem Zoom auf ein Gebäude.

Tab. 4: Abstände eines transformierten Punktes der betrachteten vier Lösungen [m].

	Helmert [11 d]	NTv2 BeTA 2007	NTv2 KanU
Helmert [11 a]	0,561	0,571	0,665
Helmert [11 d]	–	0,122	0,157
NTv2 BeTA 2007		–	0,096

5. Fazit

Der gemeine GIS-Nutzer wird selbstredend erwarten, dass eine Zusammenführung von Datenbeständen gemäß der Abb. 1 in seinem Projekt auf möglichst einfache Art gegeben ist. In QGIS sind dafür die umfangreichen Möglichkeiten vorgehalten, wie sie sich aus der Bibliothek PROJ.4 ergeben. Mit

PROJ.4 können sowohl vordefinierte Koordinatentransformationen (mit amtlichen Parametern bzw. Shiftwerten) als auch benutzerdefinierte Koordinatentransformationen durchgeführt werden. Angesichts der Vielfalt und Anzahl der vordefinierten Transformationen – mit PROJ.4 werden in QGIS ca. 2700 CRS unterstützt¹¹ – muss der Nutzer um den geographischen Gültigkeitsbereich und die erreichbare Genauigkeit wissen.

Die gitterbasierte Transformation ist ein einfacher mathematischer und zudem performanter Ansatz. Erforderlich sind die Ablage der Gitterdatei in einem vorgesehenen Verzeichnis und die Implementierung in der Transformationsbibliothek. Die Berücksichtigung regionaler bzw. projektbezogener Genauigkeitsansprüche kann über die Gitterdatei gesteuert werden. Um dabei Katastergenauigkeit zu gewährleisten, haben die Vermessungsbehörden der Länder entsprechende Gitterdateien erzeugt und stellen diese zur Verfügung (siehe Tab. 3). Ein we-

¹¹ siehe: <https://www.qgis.org>

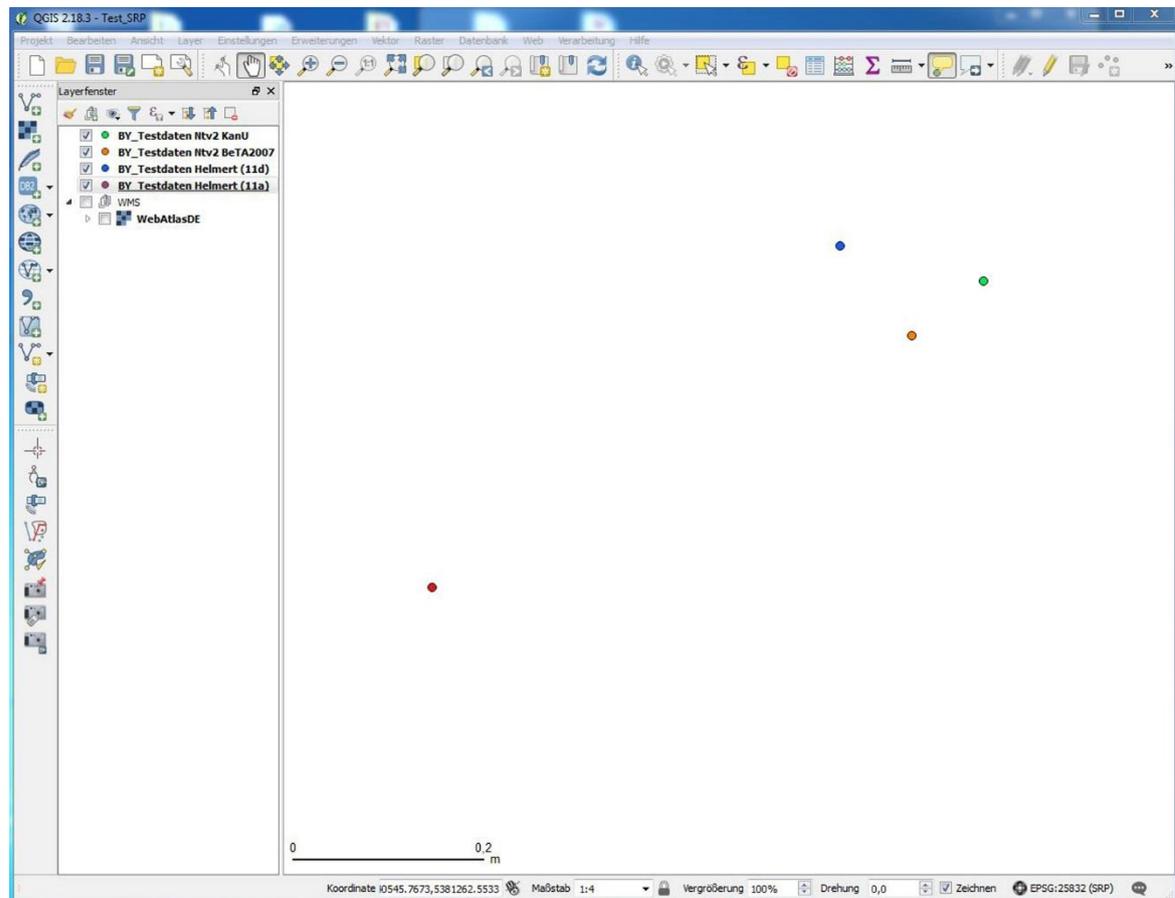


Abb. 9: ScreenShot aus QGIS mit den Abweichungen aus den Transformationen für einen ausgewählten Punkt.

sentlicher Vorteil bei der Nutzung dieser autorisierten Gitterdateien ist, dass plausible Ergebnisse, insbesondere auch hinsichtlich der Berücksichtigung von Nachbarschaften bei Überlagerungen von Datensätzen, in den jeweiligen Gebietsgrenzen sichergestellt sind.

Demgegenüber kann es bei dem strengen Vorgehen des Datumsüberganges mit einer 3D-Helmert-Transformation zu merklichen Verschiebungen kommen, wenn der verwendete Parametervektor p die lokalen Verhältnisse ungenügend repräsentiert. Gerade bei diesem Ansatz sollte daher die Plausibilität eingelesener Daten durch den Nutzer verifiziert werden, etwa anhand graphischer Überlagerung der Layer in einer hohen Auflösungsstufe. Führt dies zu dem Ergebnis, dass eingelesene Daten unzureichend mit den anderen Projektdaten zusammenpassen, ist entweder der Parametervektor anders zu wählen oder es ist gegebenenfalls zu einem gitterbasierten Ansatz zu wechseln. Jeder (Q)GIS-Nutzer muss folglich zumindest Grundkenntnisse zur „Reprojektion“ von Daten haben.

Literatur / Quellen

- ADV (= ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND) (Hrsg.) [2012]:* Bundeseinheitliche Transformation für ATKIS (BeTA2007). Version 1.5.
<http://www.adv-online.de/Geodaetische-Grundlagen/Transformation/Transformation-BeTA2007/> – letzter Aufruf: 12.01.2018
- BKG (= BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE) (Hrsg.) [o.J.]:* Onlineberechnung von Quasigeoidhöhen mit dem GCG2016.
<http://gibs.bkg.bund.de/geoid/gscmp.php?p=g> – letzter Aufruf: 07.11.2017
- BKG (Hrsg.) [2012]:* Coordinate Reference Systems.
<http://crs.bkg.bund.de> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- BKG (Hrsg.) [2014]:* Coordinate Reference Systems in Europe.
<http://www.crs-geo.eu> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- BKG (Hrsg.) [2017]:* GDI-DE – Geodateninfrastruktur Deutschland.
<http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- BKG (Hrsg.) [2018]:* WebAtlasDE.
<http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz?l=webatlasde> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- BLDBV (= BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) [2017]:* Testdaten.
<https://ldbv.bayern.de/service/testdaten.html> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- DIN 18709-6 [2016]:* Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 6: Geodätische Bezugssysteme und Bezugsflächen. Beuth-Verlag, Berlin, 51 S.
- DONAUBAUER, Andreas / KOLBE, Thomas H. (Hrsg.) [2016]:* Leitfaden Bezugssystemwechsel auf ETRS89/UTM – Grundlagen, Erfahrungen und Empfehlungen. Leitfäden des Runden Tisches GIS. Runder Tisch GIS e.V./Technische Universität München, München, 139 S.
https://rundertischgis.de/publikationen/leitfaeden#a_koordinatentrans – letzter Aufruf: 16.01.2018
- EVENDEN, Gerald [2018]:* proj.4 Documentation. Release 4.9.3.
<https://raw.githubusercontent.com/OSGeo/proj.4/gh-pages/proj4.pdf> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- GROSSMANN, Walter [1976]:* Geodätische Rechnungen und Abbildungen in der Landesvermessung. Wittwer, Stuttgart, XII, 260 S.
- HAMPP, D. / GLOCK, C. [2017]:* Ein ausgeglichenes Bayern. – In: Mitteilungen des DVW Bayern, 69. Jhrg., Heft 2, S. 105-126.
 ISSN: 1613-3064
- IHDE, Johannes / LINDSTROT, Walter [1995]:* Datumstransformation zwischen den Bezugssystemen ERTF/WGS, DHDN und System 42. – In: Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV), 120. Jhrg., Heft 4, S. 192-196.
 ISSN: 0044-3689
- INSPIRE (= INFRASTRUCTURE FOR SPATIAL INFORMATION IN EUROPE) (Hrsg.) [2018]:* INSPIRE Knowledge Base.
<https://inspire.ec.europa.eu> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- IOGP (= INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS) (Hrsg.) [2018]:* About the EPSG Dataset.
<http://www.epsg.org> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- KREITLOW, Stefanie / BRETTSCHEIDER, Andrea / JAHN, Cord Heinrich / FELDMANN-WESTENDORFF, Uwe [2010]:* ETRS89/UTM – Der Bezugssystemwechsel und die Auswirkungen auf die Geodatennutzung. 14 S.
<http://www.adv-online.de/Geodaetische-Grundlagen/Transformation/ETRS89-UTM-Transformation/> – letzter Aufruf: 12.01.2018
- NN [2016]:* proj.4.
<http://proj4.org> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- QGIS [2017]:* QGIS – Ein freies Open-Source-Geographisches Informationssystem.
<https://www.qgis.org/de/site> – letzter Aufruf: 16.01.2018
- SCHÖDLBAUER, Albert [1981]:* Die geodätischen Grundaufgaben auf Bezugsellipsoiden im System der geographischen Koordinaten und die Berechnung ellipsoider Dreiecke. Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 1. Wichmann-Skripte, Wichmann, Karlsruhe, 145 S.
 ISBN: 3-87907-120-9
- SCHÖDLBAUER, Albert [1982]:* 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. Rechenformeln und Rechenbeispiele zur Landesvermessung, Teil 2. Wichmann-Skripte, Wichmann, Karlsruhe, 275 S.
 ISBN: 3-87907-121-7
- TORGE, Wolfgang [1991]:* Geodesy. 2nd Edition, Walter de Gruyter, Berlin/New York, X, 264 S.
 ISBN: 3-11-012408-4

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. OTTO HEUNECKE
 Universität der Bundeswehr München
 Institut für Geodäsie
 D-85577 Neubiberg
 Tel.: +49 / (0)89 / 6004 – 4666
 E-Mail: otto.heunecke@unibw.de

GIS im Kontext von Safe Cities

Zusammenfassung

Viele Regionen und Städte folgen dem aktuellen Hype der Smart City oder Safe City. Die resultierende Fragestellung ist, was sind denn Kennzeichen einer solchen Stadt, welche technologischen Ansätze und Trends lassen sich identifizieren und gibt es greifbare Beispiele, welche die Ansätze repräsentativ für verschiedenste Bereiche verdeutlichen helfen?

Summary

A lot of regions and cities are on their way towards a transformation to a smart city or safe city. However, what are the characteristics, which makes a safe city different from a regular one, what kind of technology and technology trends are relevant on that transition and finally, are there samples giving us useful hints how these technologies can be applied in order to generate „visible“ results on that journey.

1. Einleitung

Im Übergang von einer „normalen“ Stadt zu einer „smart/safe“ Stadt ist es wichtig, sich die Kriterien zu vergegenwärtigen, die kennzeichnend dafür sind. Im „*Smart cities Preliminary Report 2014*“ [ISO, 2015] werden folgende substantiellen Eigenschaften identifiziert:

- Einbindung der Gesellschaft,
- Anwendung von „kollaborativen“ Führungsmethoden,
- interdisziplinäre Zusammenarbeit der unterschiedlichen Bereiche und
- der Einsatz von Informationen moderner Technologien.

Im Kontext der Nachhaltigkeit und der Vielfältigkeit der Aufgabengebiete ist eine Einschränkung der Bereiche und die Befähigung zur Zusammenarbeit notwendig.

Hexagon definiert das Thema über mehrere Schichten. Die Basis legt die sogenannte „*Digital City*“. Damit alle Prozesse und Daten den richtigen „Raum“ haben, ist eine möglichst genaue Abbildung der realen Welt notwendig – der digitale Zwilling. Nehmen wir mal einen aktuellen Trend mit „*Building Information Management (BIM)*“: welche Stelle nimmt BIM in der Wertschöpfungskette ein, wenn kein digitaler Rahmen zur Verfügung steht? Einen deutlich reduzierteren, da kein Kontext vorhanden ist.

Wie Abbildung 1 zeigt, ist „*Safe City*“ die nächste Ebene. Sicherheit bezieht sich hierbei auf sehr verschiedene Ebenen, wie zum Beispiel

- die physikalische Sicherheit von Personen und Objekten,

- die physikalische Sicherheit der Versorgung mit Energie und Wasser,
- die Sicherheit der unterbrechungsfreien Prozesse innerhalb der Verwaltung,
- die Sicherheit von intelligenten Transportmöglichkeiten.

Sinnhaft wird – wie einleitend zitiert – diese einzelnen Bereiche erst dann weiterzuführen, wenn die unterschiedlichen Bereiche verknüpft werden können, die Silos aufgebrochen werden.

Selbstverständlich werden die operativen Grundsysteme der einzelnen Bereiche auch weiterhin mit GI-Systemen operativ bleiben müssen. Auf dem Weg zu nachhaltigen Entscheidungen müssen aber die wesentlichen Informationen und Erkenntnisse für übergeordnete Entscheidungssysteme zugreifbar gemacht werden. Eine Smart City kann aber auch nicht isoliert existieren. Deswegen müssen die Anknüpfungspunkte in das Umfeld der Stadt mit in Betracht gezogen werden, wie beispielhaft die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Bodenschätzen, die Fabriken und übergeordneten Infrastrukturen.

Der Schlüssel zum Überwinden dieser Grenzen liegt in der intelligenten Anwendung von Technologien, von Plattformdenken und auch im Bereich der Sensorik und Datenverarbeitung.

2. Technische Aspekte

Im Kontext von Safe City spielen verschiedenste IT-Trends eine große Rolle beziehungsweise werden gerne als Lösungsansatz zitiert. Aber nur wenige inkludieren den wichtigen Faktor „Echtzeit“ so inhärent wie das Thema „*Internet of Things*“ (IoT) [Wi-

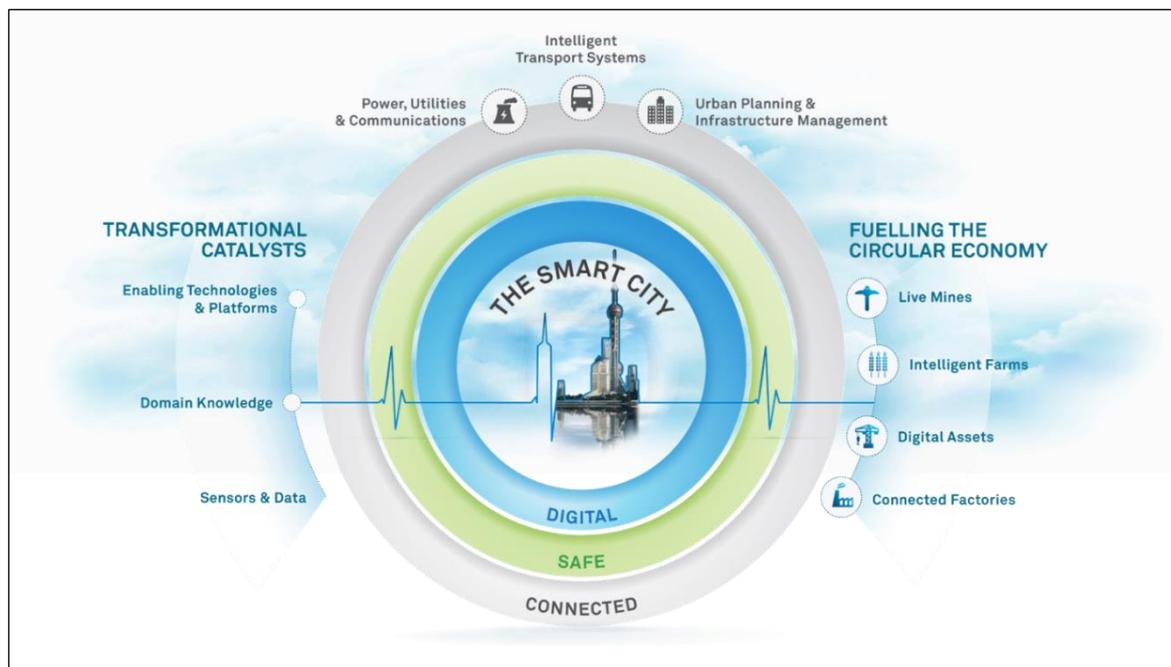


Abb. 1: Smart City – Konzept [ROLLÉN, 2017].

KIPEDIA, 2006-2017]. Gleichzeitig spiegelt IoT auch die Widersprüchlichkeit der Verwendung dieser Schlagworte wieder und impliziert weitreichende Konsequenzen. Ein wesentliches Kriterium ist die Einbindung von Sensordaten zur Beeinflussung von Entscheidungen. Gleichzeitig bedingt aber auch die Menge an Sensoren einen veränderten Umgang mit den Daten. Sensordaten im IoT können nicht mehr zu einem großen Rechenzentrum „transportiert“ werden, weil die Datenmenge das Transportvermögen überschreiten wird und die „Laufzeit“ (latency) für eine angemessene Reaktion nicht mehr ausreichen wird. Als Konsequenz führt dies wieder zu einer Dezentralisierung der IT, mit mehr autonomen und auch automatisierten Abläufen.

Eines der größten Missverständnisse von IoT ist, dass es nicht die Lösung selbst darstellt, sondern eine Lösungsplattform bietet. Nur diese Plattform-Gedanken liefern die Nachhaltigkeit und Flexibilität, die eine Safe City benötigt. Die ständigen Veränderungen im Bereich der Hardware (Sensoren) und Softwaresysteme (Prozesse) bedingt, dass letztlich das Gesamtsystem dynamisch ist, sich über Inkremente weiterentwickelt und in Summe ergebnisorientiert (outcome oriented) ist. Gleichwohl müssen Themen wie Privatsphäre oder Sicherheit in diese Plattform „design“ sein, damit der richtige Schutz aus der Plattform heraus gegeben ist.

Trotz einer hohen Flexibilität, die sich einer verändernden Umwelt anpassen muss, gibt es eine Notwendigkeit von einer Stabilität an Prozessen und einer Nachhaltigkeit – und damit auch Reproduzier-

barkeit – der Auswertungen. Im Kern bedingt dies, dass die IoT-Plattform verschiedenste Abstraktionsebenen anbietet, die eine Entkopplung von Hardware (Sensoren), der Methodik (Ausführung von unterschiedlichen Algorithmen), den Standarddaten (auch aus In-Memory-Datenbanken) sowie den resultierenden entscheidungsunterstützenden Systemen bietet. Die nachfolgende Abbildung 2 skizziert einen solchen Abstraktionsgedanken.

Von links herkommend werden alle möglichen Sensoren in Betracht gezogen. In dieser Darstellung ist die Frage, ob Daten der Sensoren schon „in der Nähe“ des Sensors prozessiert werden und damit schon erzeugte Informationen weitergeleitet werden, vernachlässigbar. Diese Echtzeit-Daten, werden dann zu Betriebsdaten und Kontextdaten in Bezug gesetzt und schließlich mit (raumbezogenen) Algorithmen verarbeitet.

Abschließend werden dann die unterschiedlichen Informationen in einer entsprechend interaktiven, dynamischen Darstellung dem Endnutzer zur Verfügung gestellt.

3. Beispielanwendungen

3.1 Wie lebenswert ist der Raum innerhalb einer Stadt?

Den Lebensraum einer Stadt zu beurteilen ist eine wichtige Basis, wenn man die Transition zu einer Smart City angehen will – quasi die „IST-Analyse“.

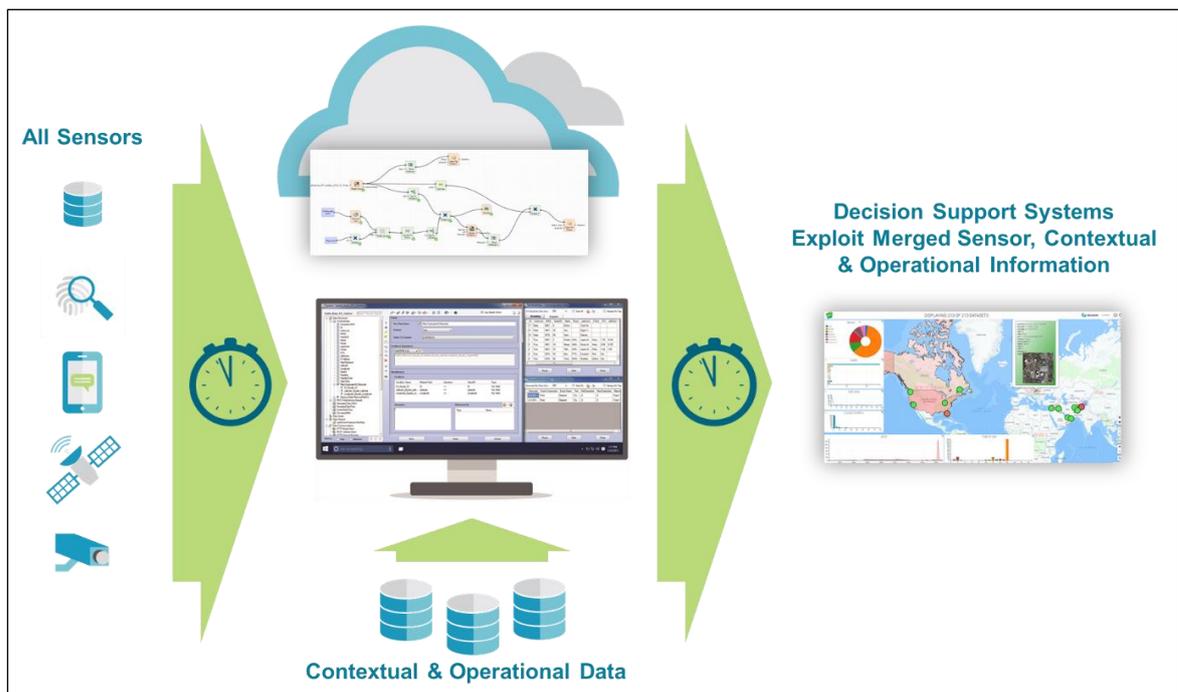


Abb. 2: Konzeptuelle IoT-Auswertungsinfrastruktur [JASNOCH, 2017].

Die „Agència d’Ecologia Urbana de Barcelona“ hat hierfür ein anerkanntes Ranking- und Rating-System erarbeitet [BCN, 2012]. Im Kern werden 41 Themen in sieben Kategorien analysiert. Die Kategorien sind:

- Bodennutzung,
- öffentlicher Raum,
- Mobilität,
- urbane Komplexität,
- Grünflächen und biologische Diversifizierung,
- urbane Metabolisierung,
- sozialer Zusammenhalt.

Diese Daten werden entsprechend von dem Institut erfasst und von den „Key Performance Indicators“ (KPI) berechnet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte bisher in thematischen Karten auf Basis der Berechnungen sowie entsprechenden erklärenden Textpassagen in Berichten.

Auch wenn diese Form der Darstellung der Ergebnisse in Summe richtig und vollständig ist, bietet sie wenig bis keine Unterstützung in der explorativen Darstellung der Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten. In Zusammenarbeit mit dem Institut wurde nun eine Darstellungsform im Rahmen eines entscheidungsunterstützenden Systems erarbeitet, welches für die verschiedenen Analyseergebnisse die Möglichkeit bietet, die wesentlichen Ursachen für einen schlechten Lebenswertindex zu analysieren.

In dem in Abbildung 3 dargestellten Beispiel werden vier der 41 Kriterien in Dashboards angezeigt. Der schlechte Lebenswertindex wird im Wesentlichen durch die hohe Lärmbelastung und den

minimalen Fußgängerraum bestimmt. Selbst eine optimale Luftqualität kann dies nicht kompensieren. Basierend auf diesen beispielhaften Erkenntnissen würde sich eine verkehrsberuhigte Zone als geeignete Gegenmaßnahme präsentieren, um damit den Geräuschpegel des Verkehrs zu reduzieren und gleichzeitig den Freiraum für Fußgänger zu erhöhen.

Alternativ kann man aber auch den hohen Geräuschpegel und den niedrigen Fußgängerraum als Selektionskriterium verwenden, um festzustellen, dass es Bezirke gibt, die bei gleicher Belastung trotzdem einen akzeptablen Lebenswertindex besitzen (Abb. 4). Durch Analyse weitere KPI’s dieser Bezirke lassen sich gegebenenfalls auch weitere Gegenmaßnahmen ableiten, die für die Bewohner zu einer spürbaren Verbesserung ihrer Lebenssituation führen.

3.2 Der Einfluss von E-Commerce auf die Luftqualität

Nicht erst seit dem „Diesel-Skandal“ ist das Thema Luftqualität im urbanen Raum ein wichtiges Thema. Eine Fragestellung, die in diesem Zusammenhang immer öfters auftaucht, ist, welchen Einfluss der Internet-Handel/E-Commerce in diesem Zusammenhang spielt – spielen kann. Die Zunahme des Internet-Handels hat zu einer erheblichen Relevanzsteigerung im Bereich der sogenannten „Last-Mile-Logistik“ [THOMAS, M./THOMAS, S., 2017] geführt. Ver-

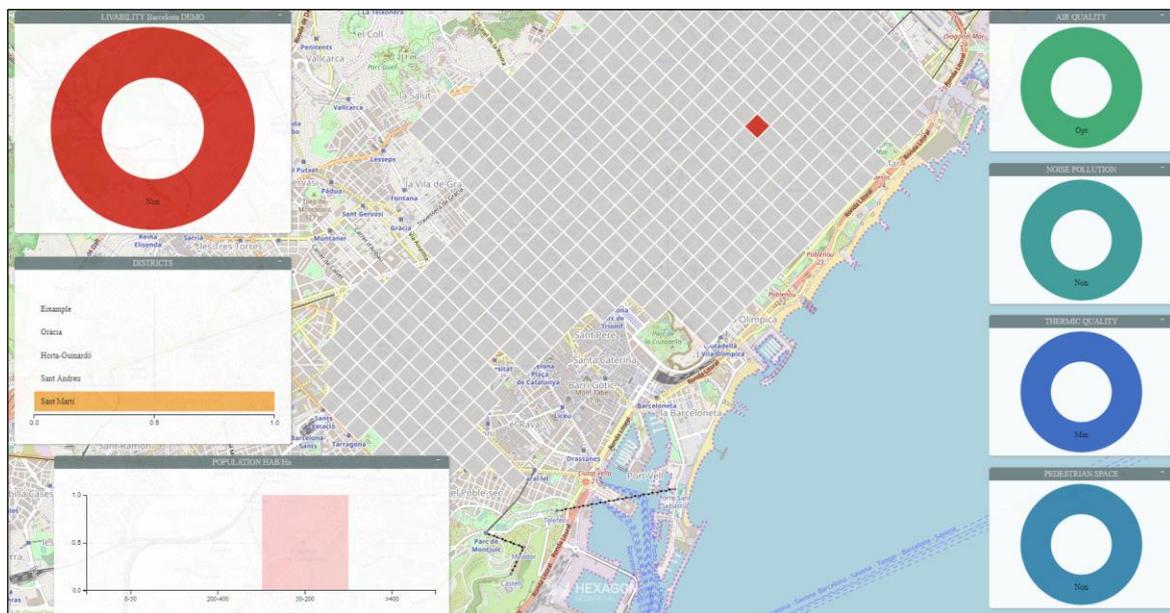


Abb. 3: Analyse der Lebensqualität eines Bezirkes mit hoher Lärmbelastigung [JASNOCH, 2017].

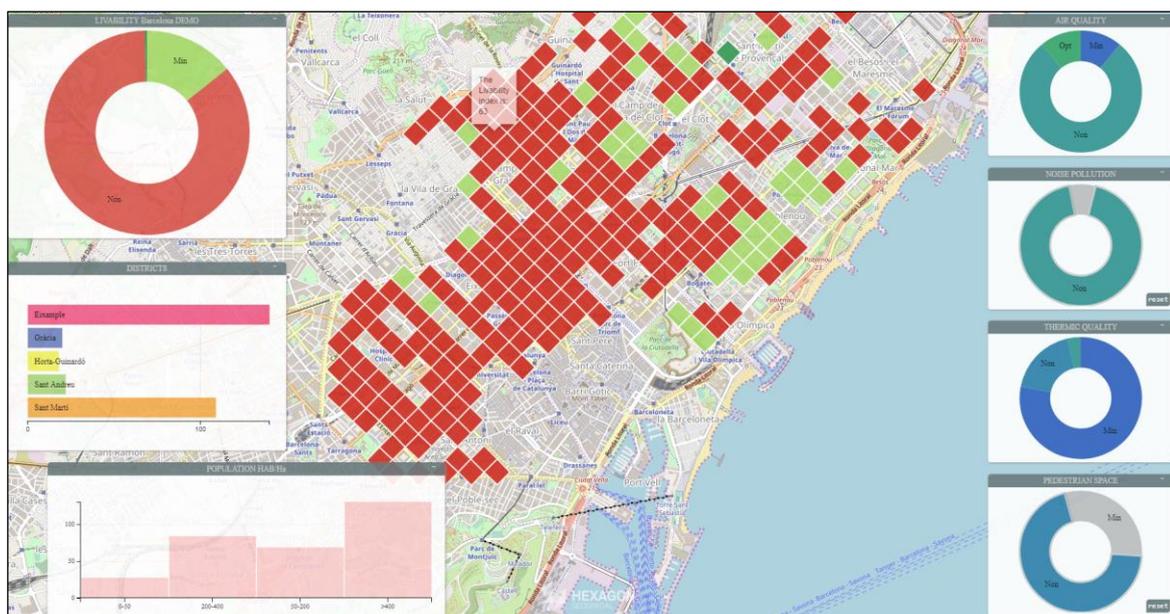


Abb. 4: Analyse der Lebensqualität aller Bezirke mit hoher Lärmbelastigung [JASNOCH, 2017].

einfach ausgedrückt liegt die Vermutung nahe, dass eine höhere Affinität zum Internet-Handel eine durch die Logistikunternehmen verursachte höhere Verkehrs- und Luftbelastung bedingt.

Die Fragestellung ist nun, ob es auffällige Ballungszentren („hot spots“) von E-Commerce affinen Häusern innerhalb einer Stadt gibt? Im Wesentlichen können sowohl Privathaushalte (online-Bestellungen) als auch gewerbliche Einrichtungen (Distanzhandel) eine Affinität dazu besitzen. Die folgende Heatmap (Abb. 5) zeigt die Affinität zu E-Commerce für Privathaushalte.

Wie sehr deutlich erkennbar ist, besteht im Zentrum der Karte keine ausgeprägte Affinität dazu. Betrachtet man nun dazu die Affinität der gewerblichen Einrichtungen, erkennt man sofort einen veränderten Sachverhalt (Abb. 6).

Eine gewisse Ballung im Zentrum der Karte ist deutlich zu erkennen. Die Erklärung der Unterschiede ist so einfach wie einleuchtend: im Zentrum der Karte befindet sich eine Fußgängerzone mit einer Vielzahl von Geschäften aber nur sehr wenig privater Wohnraum. Durch die Analyse der Stadtgebiete lassen sich alternative Logistikkonzepte erarbeiten,

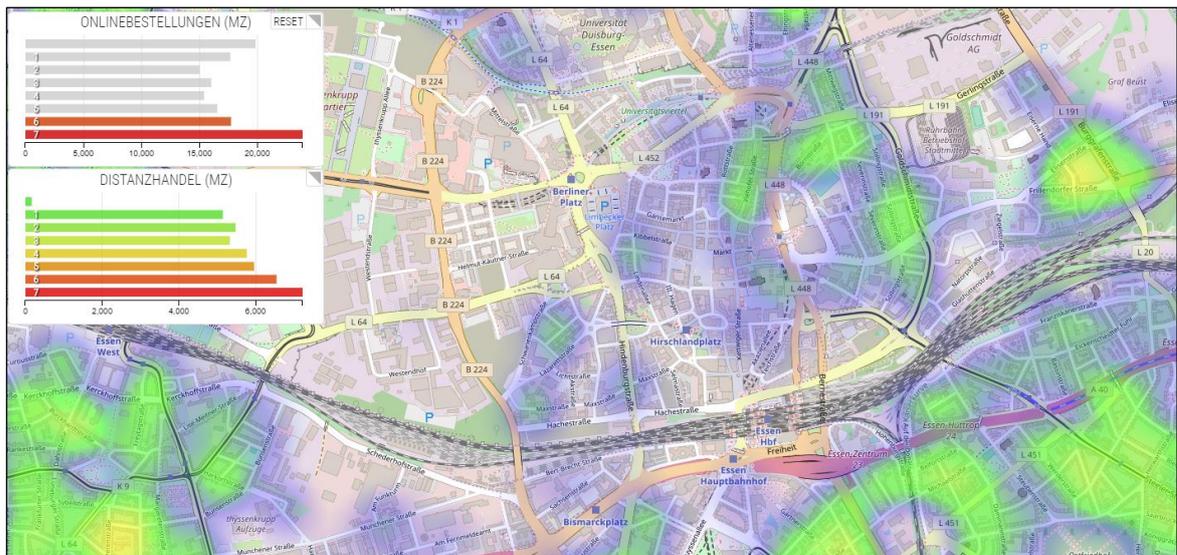


Abb. 5: Einfluss von E-Commerce der Privathaushalte auf die Verkehrs- und Luftbelastung in Essen [JASNOCH, 2017]

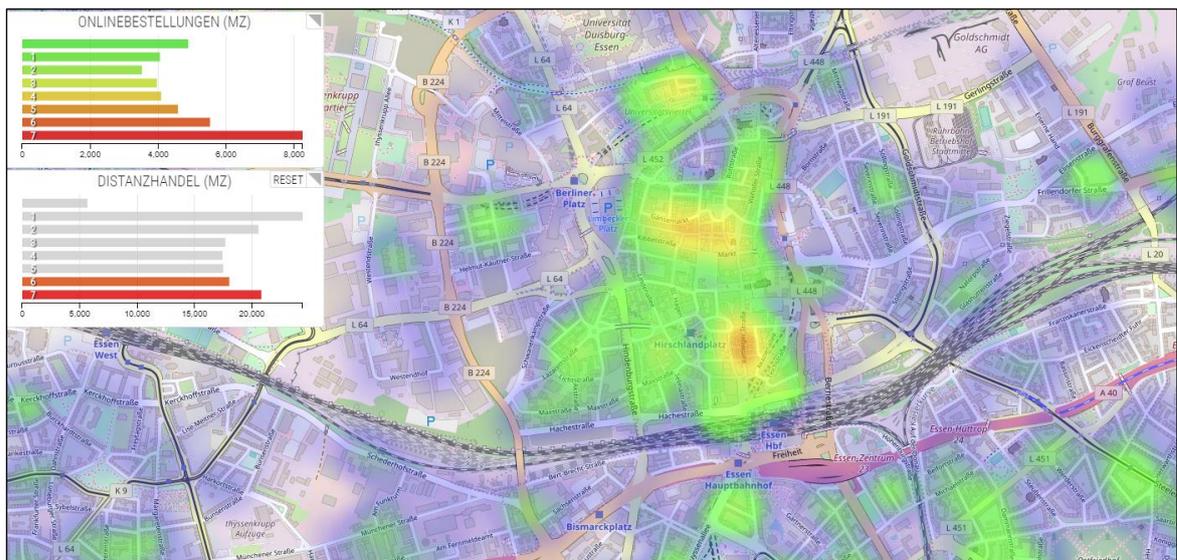


Abb. 6: Einfluss von E-Commerce der gewerblichen Einrichtungen auf die Verkehrs- und Luftbelastung in Essen [JASNOCH, 2017]

die für ermittelte Hotspots eine Verbesserung der logistikbedingten Luftqualität ergeben können.

3.3 Sensoren für Smart Transportation

Im Bereich des Seattle Sound ist die Washington State Ferries Gruppe für den Fährbetrieb zuständig. Um eine ständige Verbesserung der Qualität und des Service zu erbringen, braucht es eine intuitive Darstellung des aktuellen Betriebes. Zur Identifikation der Position der einzelnen Schiffe wird hierbei das Signal des „Automatic Identification Systems“ (AIS)

[WIKIPEDIA, 2005-2017] verwendet (Abb. 7). Darüber hinaus werden die Betriebs- und Routenmodi der einzelnen Fähren sowie weiterführende Attribute wie zum Beispiel Fahrgastzahlen eingesetzt, um ein vollständiges Bild der operativen Lage zu gewinnen.

Die einzelnen Routen sind farblich kodiert; die entsprechend auf dieser Route eingesetzten Fähren werden mit der gleichen Farbe angezeigt. In weiteren Dashboards werden die eingesetzten Fähren oder aber auch die Geschwindigkeiten der Fähren dargestellt.

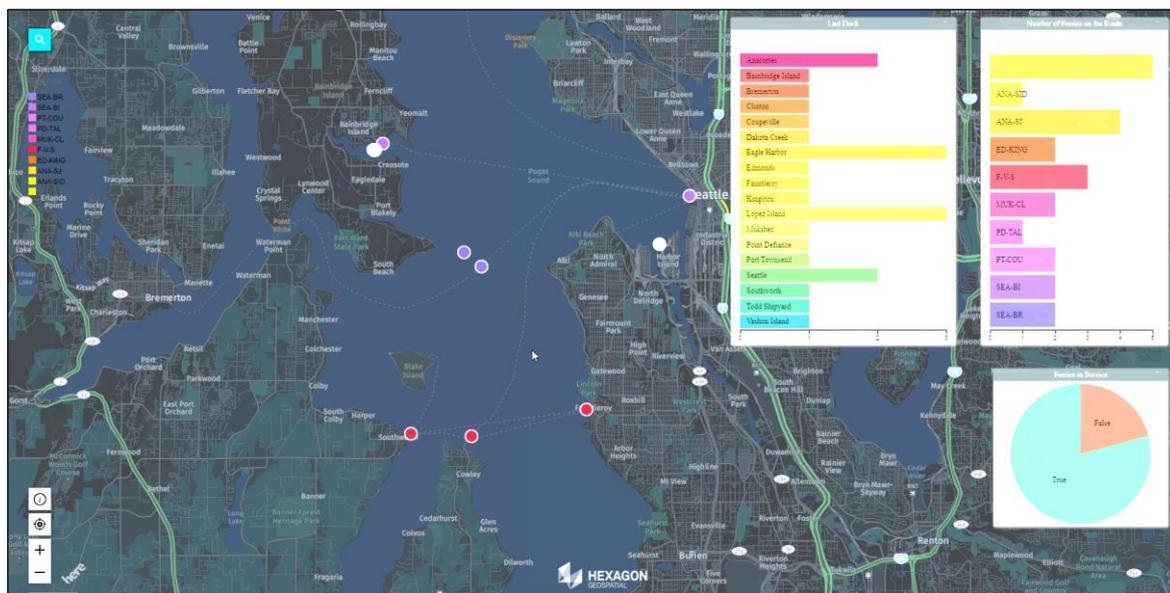


Abb. 7: Überblick über die Fährsituation in Seattle [THOMAS, G., 2017].

Die Aggregation der Daten führt zu verbesserten Planungsgrundlagen und bietet die Basis für ein optimiertes multi-modales Verkehrskonzept im innerstädtischen und suburbanen Raum.

4. Zusammenfassung

Die Bedeutung von raumbezogenen Analysen ist für eine Safe City unabdingbar. Wesentliche Elemente hierbei sind:

- der Weg von den operativen Silos in bereichsübergreifende Darstellungen der IST- und Soll-Situation,
- eine flexible Plattform für die Durchführung von raumbezogenen Berechnungen,
- die Integration von Sensordaten, um Echtzeit-Aspekte aufzunehmen,
- eine nachhaltige Konzeption, um den sich ändernden Technologien als auch Anforderungen gerecht zu werden.

Im Beitrag wurden Aspekte der Plattformgestaltung als auch an Hand von Beispielen gezeigt, welche Erkenntnisse und Hilfestellungen für Entscheidungsträger durch solche Systeme generiert werden können.

Literatur / Quellen

BCN (= AGÈNCIA D'ECOLOGIA URBANA DE BARCELONA) (Hrsg.) [2012]: Ecosystemic Urbanism. – Online Publikation. <http://www.bcnecologia.net/en/conceptual-model/ecosystemic-urbanism> – letzter Aufruf: 12.12.2017

ISO (= INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) (Hrsg.) [2015]: Smart cities. Preliminary Report 2014. ISO/IEC JTC 1 Information technology. ISO, Genf, III, 72 S. https://www.iso.org/iso/smart_cities_report-jtc1.pdf – letzter Aufruf: 12.12.2017

JASNOCH, Uwe [2017]: Rethinking Urban Infrastructures in the Digital Age. – Vortrag vom 14.11.2017 auf dem Smart City Expo World Congress 2017: Empower Cities. Empower People. Barcelona, Spain, 13-15 November 2017.

ROLLÉN, Ola [2017]: Shaping Smart Cities. – Online-Publikation. <https://blog.hexagon.com/shaping-smart-cities/> – letzter Aufruf: 12.12.2017

THOMAS, Georg K. [2017]: Seattle Ferries Smart M.App. – Vortrag auf der Hexagon cross-industry technology conference HxGN Live 2017, Las Vegas, NV, USA, 12-15 June 2017.

THOMAS, Mathias / THOMAS, Simon (Hrsg.) [2017]: Die Letzte-Meile-Logistik im E-Commerce – Herausforderungen und Lösungsansätze. – Online Publikation. <https://logistikknowhow.com/die-letzte-meile-logistik-im-e-commerce-herausforderungen-und-loesungsansatze/> – letzter Aufruf: 12.12.2017

WIKIPEDIA (Hrsg.) [2005-2017]: Automatic Identification System. – Online-Publikation. https://de.wikipedia.org/wiki/Automatic_Identification_System – letzter Aufruf: 12.12.2017

WIKIPEDIA (Hrsg.) [2006-2017]: Internet der Dinge. – Online-Publikation. https://de.wikipedia.org/wiki/Internet_der_Dinge – letzter Aufruf: 12.12.2017

Anschrift des Verfassers:

Dr. UWE JASNOCH
Hexagon Safety & Infrastructure
Reichenbachstraße 3
85737 Ismaning
Tel.: +49 / (0)89 / 96106-4848
E-Mail: uwe.jasnoch@HexagonSI.com

Eine kleine Geschichte der Middleware

Zusammenfassung

Seit den Anfängen der betrieblichen Informationssysteme hat sich deren Architektur stetig verändert. Waren in den Anfangszeiten auf Zentralrechnern (Mainframes) ablauffähige Anwendungsfunktionen ausschließlich über simple Ein-/Ausgabeterminals zugreifbar, so hat sich mit Einzug der Personal Computer und deren Vernetzung das Bild grundsätzlich verändert. Im betrieblichen Kontext sind die verschiedenen Anwendungsmodule und deren zugrundeliegende Daten typischerweise auf ganz unterschiedlichen Rechnerplattformen und Betriebssystemen verteilt (Verteilte Systeme). Der Zugriff und die Verknüpfung zu Prozessketten erfolgt in der Regel über das Internet. So entstehen ganze Internet-basierte Anwendungssystemlandschaften, deren Integration zu einer „gefühlte“ einheitlichen, integrierten Gesamtanwendung eine sehr komplexe Aufgabenstellung darstellt. Als vermittelnde und integrierende Schicht „in der Mitte“ zwischen den unterschiedlichsten, auf heterogenen Plattformen laufenden und örtlich verteilten Applikationen sowie den darüber liegenden, verbindenden Prozessen hat sich eine eigene Abstraktionsschicht mit entsprechenden SW-Konzepten und Technologien entwickelt: Middleware.

Der Beitrag zeichnet die Entwicklungsgeschichte von Middleware nach und stellt die heute dominierenden Ansätze und Technologien im Kontext des Mobile Cloud Computing vor.

Summary

Since the very beginning of business information systems, their architecture has changed constantly. While in the early days executable application functions could only be accessed on central computers (mainframes) via simple input/output terminals, the situation has fundamentally changed with the arrival of networked Personal Computers. In the context of business information systems, the various application modules and their underlying data are typically distributed on very different computer platforms and operating systems (distributed systems). The access to functions and their linking to process chains is usually managed via the Internet. This results in complex Internet-based application system landscapes whose integration into a „felt“ uniform integrated application is a very demanding task. As an intermediary and integrating layer „in the middle“ between the most diverse, on distributed heterogeneous platforms implemented applications and the connecting processes there is an abstraction layer with appropriate software concepts and technologies: middleware.

The article reconstructs the history of the development of middleware and presents today's dominant approaches and technologies in the context of mobile cloud computing.

1. Motivation und Ursprung

Wie viele Begriffe im Informatikumfeld ist auch Middleware nicht einheitlich und eindeutig definiert. Middleware wird als Konzept, als Paradigma, als Überbegriff für integrierende Ansätze, aber auch als Begriff für ganz spezielle Produkte und Technologien gleichermaßen verwendet. Wir schließen uns hier der in Fachkreisen vorherrschenden Meinung an, dass Middleware primär als Grundidee – als Paradigma – verstanden werden sollte. Ziel und Anspruch von Middleware ist es, eine vermittelnde Schicht zu definieren und auszugestalten, die heterogene Software- bzw. Anwendungssystemlandschaften zu einer integrierten, an Wertschöpfungsketten ausgerichteten Ebene zusammenführt. Konkrete Umsetzungen dieser Idee stehen dann für verschiedene Ausprägungen von Middleware und deren jeweilige Implementierung auf konkreten Plattformen, Betriebssystemen und Programmierumgebungen. So wird Middleware heute von unterschiedlichen Anbietern und in ganz unterschiedlichen For-

men – beispielsweise Open Source, kommerziell, als Werkzeugkasten in Form von kompletten Integrations-Suites (Enterprise Application Integration EAI) oder auch integriert in Standard-Anwendungssystemen wie beispielsweise SAP – am Markt angeboten.

Soweit es z. B. in GALL [2003] nachvollzogen werden konnte, taucht der Begriff *Middleware* im Jahr 1968 zum ersten Mal veröffentlicht auf der NATO-Konferenz in Garmisch-Patenkirchen auf [NAUR/RANDELL, 1968], die auch als Geburtsstunde für den Begriff *Softwarekrise* steht. Aus Sicht der – primär militärischen – Anwendungsbereiche war zu diesem frühen Zeitpunkt der Informatikentwicklung durch die enge Bindung von Anwendungssoftware an die Betriebssysteme eine große Lücke zwischen den immer komplexer werdenden Anforderungen der Anwendungssysteme einerseits und den Basisschichten der Plattformen andererseits entstanden.

Ein Teilnehmer der Konferenz namens ALEX D'AGAPEYEFF führte in seiner „*Inverted Pyramid*“ den Begriff *Middleware* als Vermittlungsschicht

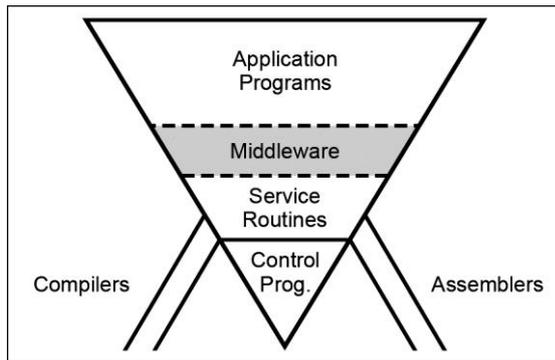


Abb. 1: Middleware in der „Inverted Pyramid“ von D’AGAPEYEFF [nach NAUR/RANDELL, 1968].

und integrierendes Konzept wie in Abb. 1 dargestellt ein.

Eine genauere Definition blieb D’AGAPEYEFF allerdings noch schuldig, und es vergingen vier weitere Jahre bis nach GALL [2003] im „Journal Accountant“ vom 27. April 1972 eine Definition von Middleware erfolgte, die im Wesentlichen auch heute noch Bestand hat:

„... a comparatively new term middleware was introduced because, as some systems had become uniquely complex, standard operating systems required enhancement or modification; the programs that effected this were called middleware because they came between the operating system and the application programs.“

2. Das allgemeine Architekturschema

Middleware steht für das allgemeine Abstraktionskonzept einer Softwareschicht, die zwischen heterogenen, auf unterschiedlichen Plattformen laufenden und über Netzwerke verbundenen Anwendungssystemen und Datenquellen vermittelt (Abb. 2).

Aus einer integrierten Sicht verdeckt Middleware die sich darunter verbergende Heterogenität und Komplexität einzelner Anwendungssysteme und Datenquellen. Je nach Ansatz „hebt“ sie die den Einzelanwendungen bzw. Datenhaltungssystemen unterlegten Datenmodelle auf einen gemeinsamen, abgestimmten Level und tritt so als Vermittler (Mediator) in Erscheinung. Im Wesentlichen zielt Middleware dabei auf folgende integrierende Aspekte ab:

- **Bereitstellung lokaler Transparenz (Ortstransparenz)**
Greift ein SW-Artefakt (z.B. ein JAVA-Client) auf ein entferntes Artefakt (z.B. ein in C++ programmiertes Server-Objekt) einer anderen Anwendung zu, so erscheint dieser Zugriff aus Client-Sicht wie ein lokaler Aufruf in derselben HW/SW-Umgebung.
- **Unabhängigkeit von Kommunikationsprotokollen, Betriebssystemen und Hardware-Plattformen**
Läuft ein Client beispielsweise als (native) App auf einer mobilen Plattform innerhalb eines Hotel-Netzwerkes und der ausführende Server beispielsweise auf einer UNIX-Umgebung im Netz-

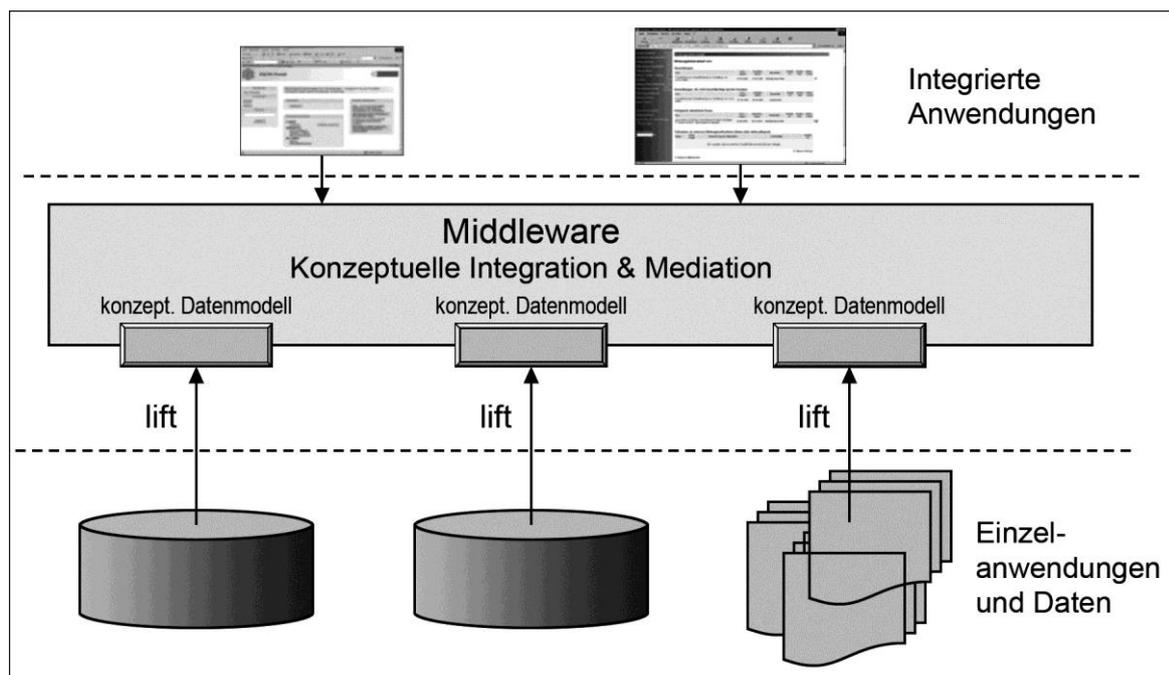


Abb. 2: Middleware-Architekturschema.

werk eines Auslieferungsdienstes, bei dem der Status für eine Lieferung abgefragt werden soll, so muss die Middleware hier die unterschiedlichen Betriebssysteme, Netzwerke, Protokolle und Plattformspezifika überbrücken.

- **Interoperabilität unterschiedlicher Applikationen**

Anwendungssysteme werden typischerweise aus Einzelkomponenten zu ganzen Anwendungssystemlandschaften integriert. Nicht selten werden dabei aus Kosten- oder Aufwandsgründen auch heute noch ältere Systeme (sog. Legacy Systems) mit eingebunden. Middleware muss es hierbei möglich machen, dass eine integrierte Anwendung z. B. von einer Android-App aus auf ein Großrechner-basiertes Warenwirtschaftssystem eines Partnerunternehmens zugreifen kann.

- **Programmiersprachen-Unabhängigkeit**

Sind zu integrierende Teile einer übergreifenden Anwendung in verschiedenen Programmierkonzepten realisiert, so muss Middleware die Verbindung zwischen den darunterliegenden Programmiersprachen herstellen können. Je nachdem, ob es sich dabei um Sprachen desselben Paradigmas (z. B. objektorientiert) oder um komplett unterschiedliche Programmierkonzepte handelt, stellt dies eine mehr oder weniger anspruchsvolle Problematik dar.

3. Middleware-Kategorien

Die Entwicklungslinie von Middleware folgt im Wesentlichen den im Software-Engineering zu den jeweiligen Phasen dominierenden Konzepten. Orthogonal dazu kann bei Middleware-Konzepten zusätzlich noch zwischen proprietären und standard-basierten sowie zwischen synchronen und asynchronen Ansätzen unterschieden werden.

3.1 Funktionsaufruforientierte Middleware (Remote Procedure Call – RPC)

Einer der ersten Ansätze ist im Kontext der klassisch prozeduralen Programmieretechnik entstanden. Middleware erweitert hier den Kontext der Funktionsaufrufe vom internen Prozessraum auf entfernte Rechner/Prozessräume. Middleware stellt bei diesem Ansatz entsprechende Funktionalität zur Verfügung, die es einem aufrufenden Programm ermöglicht, eine entfernte Funktion in einem anderen System so aufzurufen, als wäre sie lokal. Die Middleware verdeckt für den Aufrufer den Umstand, dass die aufzurufende „Remote Procedure“ entfernt lokalisiert ist. Sie spiegelt dem aufrufenden Kontext einen „gefühlte“ lokalen Zugriff vor. Aufgaben, die

eine solche Middleware erfüllen muss, sind u. a. das Binden der entfernten Funktion, das (transparente) Übertragen der Aufrufparameter über das Netzwerk sowie ggf. das Rückübertragen und Übergeben der Ergebnisse an den Aufrufer.

3.2 Nachrichtenorientierte Middleware/ Message Broker

Die Kategorie der nachrichtenorientierten Middleware stellt kooperierenden Anwendungen eine lose Kopplung über den Austausch von Nachrichten (Publish/Subscribe) zur Verfügung. Die Middleware ist der Vermittler (Message Broker) zwischen den kooperierenden Anwendungen, der dafür sorgt, dass Nachrichten zuverlässig und in der richtigen Reihenfolge zugestellt werden. Ein Programm – egal in welcher Programmiersprache entwickelt und auf welchem Rechner und in welchem Betriebssystem installiert – übergibt seine Anfrage in Form einer Message mit Absenderadresse und Adressat an den Broker. Dieser übernimmt die Message und stellt sie dem Empfänger zu.

3.3 Datenzugriffsorientierte Middleware (Remote Database Access)

Dem Ansatz der datenzugriffsorientierten Middleware liegt die Idee zugrunde, Anwendungen über eine vermittelnde Schicht den entfernten Zugriff auf die in verteilten, heterogenen Datenhaltungssystemen gespeicherten Daten zur Verfügung zu stellen (Remote Database Access). *LINTHICUM [1999]* fasst dieses Konzept wie folgt kurz und knapp zusammen:

„Database-oriented Middleware is all the software that connects some application to some database.“

Diesem Integrationskonzept folgend erzeugt eine entsprechende Middleware aus Anwendungssicht eine Art „gefühlte einheitliche, virtuelle Datenbank“, die von den Details der konkreten Speicherung der Daten in den einzelnen Systemen abstrahiert und Daten so zur Verfügung stellt, wie sie die jeweilige Anwendung benötigt. Insofern geht dieser Ansatz auch über das Konzept der verteilten Datenbanken hinaus, da hier typischerweise kein gemeinsames Datenmodell vorausgesetzt werden kann. Vielmehr muss die Middleware zur Laufzeit zwischen unterschiedlichen zugrundeliegenden Strukturmodellen vermitteln und beispielweise ein in XML gespeichertes Element „Bohrmaschine“, ein in einer relationalen Datenbank gespeichertes Datentupel „Rechnung“ und ein als Instanz einer Klasse „Bestellung“ gespeichertes SW-Objekt einer zugreifenden Anwendung integriert zur Verfügung stellen (s. Abb. 3).

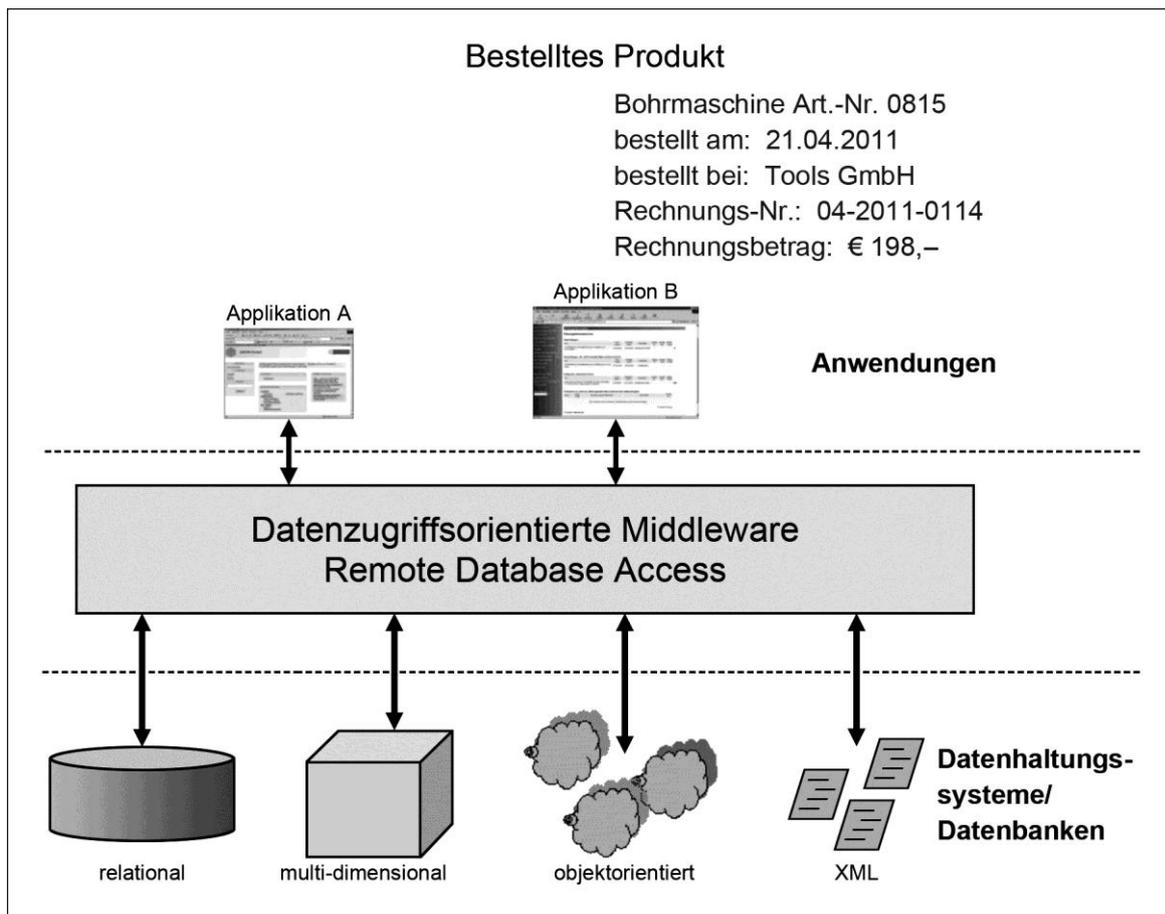


Abb. 3: Beispiel für die datenzugriffsorientierte Integration.

Resultierende Anforderungen an eine datenzugriffsorientierte Middleware sind u. a.:

- Bereitstellung von allgemeinen Schnittstellen für zugreifende Anwendungen,
- Abbildung der Anwendungsmodelle auf die Strukturmodelle der Datenhaltungssysteme,
- Ortstransparentes Absetzen von Datenanfragen (Query) über das Netzwerk,
- Ausführen der entfernten Anfrage im Prozessmodell des lokalen Systems,
- Rücktransport der aus einem entfernten Zugriff resultierenden Daten an das anfragende System,
- Abbildung der gelieferten Datensätze in das von der Anwendung benötigte Schema.

Zur Umsetzung von Remote Database Access können grundsätzlich wiederum drei unterschiedliche Ansätze unterschieden werden:

Proprietäre Schnittstellen

In dieser einfachsten Form stellen die Datenhaltungssysteme jeweils ein sog. Application Programming Interface (API) zur Verfügung, über das ein entfernter Zugriff erfolgen kann.

Standardschnittstellen (Call-Level Interfaces – CLIs)

Da proprietäre Schnittstellen zwar typischerweise einen sehr performanten Zugriff ermöglichen, andererseits aber zu einer starken Herstellerabhängigkeit führen, haben sich Standards wie ODBC (Open Database Connectivity) oder JDBC (Java Database Connectivity) etabliert, die einen standardisierten Datenzugriff auf unterschiedliche Systeme möglich machen.

Datenbank-Gateways

Sie stellen die mächtigste Variante im Sinne einer „Virtuellen Datenbank“ dar, sind sie doch in der Lage, ein ganzes Spektrum an unterschiedlichen Datenhaltungssystemen – u. a. auch Legacy Anwendungen, die typischerweise auf Mainframe-Systemen laufen – über eine explizite Zwischenschicht an die Aufrufsysteme zu koppeln.

3.4 Transaktionsorientierte Middleware / Transaction Process (TP) Monitore

Transaktionsorientierte Middleware zählt ebenfalls zu den ältesten Ansätzen und geht in die Zeit der

Großrechnersysteme zurück. Eines der bekanntesten kommerziellen Systeme ist das Customer Information Control System (CICS) der Firma IBM, das bereits Ende der 1960er Jahre entwickelt wurde. Um beispielsweise einen geordneten Zugriff auf alle für eine Flugbuchung relevanten Daten auf verschiedenen Anwendungssystemen zu ermöglichen und dafür Sorge zu tragen, dass ein anfragender Client (z.B. ein Reisebüro) einen Flug komplett gebucht hat oder umgekehrt bei Nichtgelingen alle Teilschritte wieder rückabgewickelt werden, muss der Buchungsprozess als Transaktion „geklammert“ werden. Die Middleware übernimmt hierbei die Funktion der Ausführung, Überwachung (daher auch der Begriff ‚Monitor‘) und gegebenenfalls Rückabwicklung aller in einem Geschäftsprozess eingeschlossenen Teilschritte.

TP Monitore basieren typischerweise wiederum auf dem RPC-Konzept (s. Kap. 3.1), um entfernte Funktionen auf involvierten Anwendungssystemen transparent aufrufen zu können. Da RPC selbst aber keinen Mechanismus zur Koordination und Klammerung von Teilschritten zur Verfügung stellt, schaltet sich der TP Monitor dazwischen. Damit ergibt sich gewissermaßen eine transaktionale Erweiterung des RPC-Konzeptes, das im Wesentlichen die sog. ACID-Kriterien (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) erfüllen muss.

3.5 Objektorientierte Middleware / Object Request Broker

Einen großen Entwicklungssprung machte Middleware mit der Erweiterung des objektorientierten Programmiermodells auf verteilte Objekte, die netzwerkübergreifend Anwendungen zu verbinden erlauben. Die Grundidee dabei ist, das Modell der objektorientierten Programmierung so auszuweiten, dass ein Client-Objekt die Methoden eines entfernten Server-Objektes aufrufen kann. Die Middleware macht den entfernten Zugriff für den Aufrufer transparent d.h. es macht aus Sicht des Client-Programmierers keinen Unterschied, ob ein aufzurufendes Objekt im lokalen Prozesskontext verortet ist, oder ob das Partner-Objekt auf einem anderen Rechner und in einem anderen Netzwerk lokalisiert ist. So entsteht aus einem klassisch lokalen ein sogenanntes Verteiltes Objektsystem (Abb. 4).

Die transparente Ausweitung des objektorientierten Konzeptes auf Verteilte Objekte übernimmt im objektorientierten Middleware-Konzept eine Schicht, die zwischen einem anfragenden (Client) und einem ausführenden Objekt (Server) die Vermittlung herstellt: der Object Request Broker (ORB).

Abbildung 5 verdeutlicht dieses Prinzip am klassischen „Hello World“ Beispiel. Auf einem entfernten Objektserver werden Objekte einer Klasse

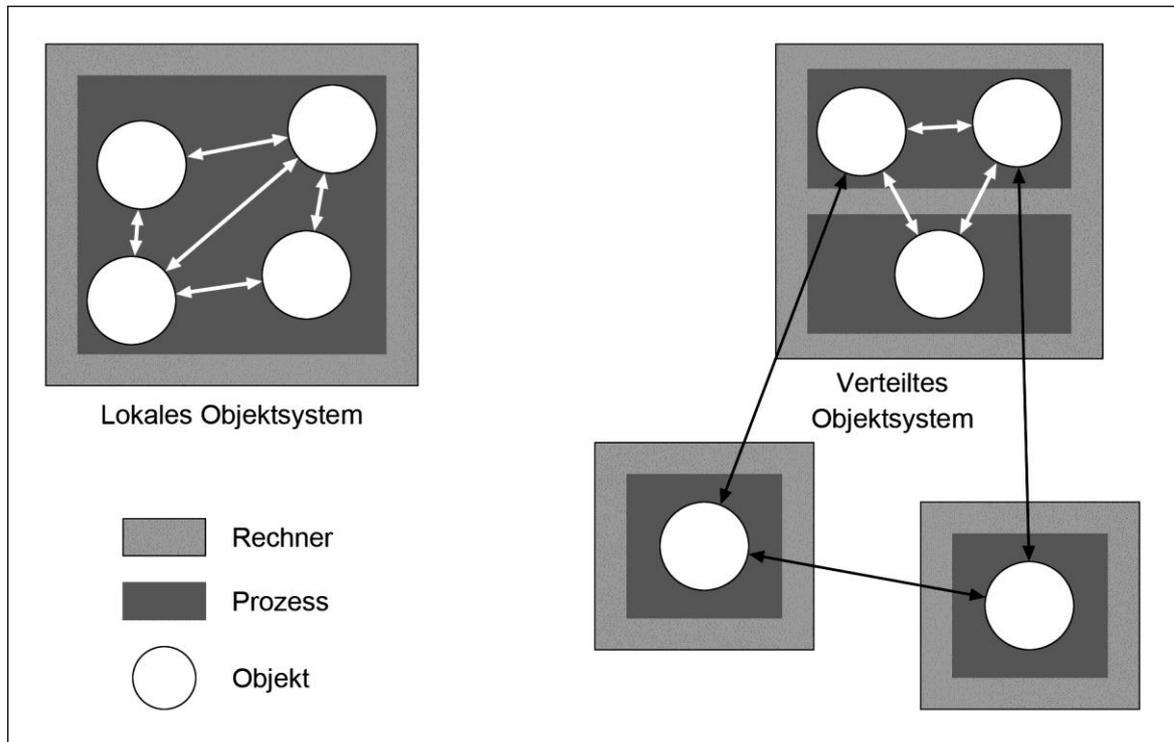


Abb. 4: Vom Lokalen zum Verteilten Objektsystem.

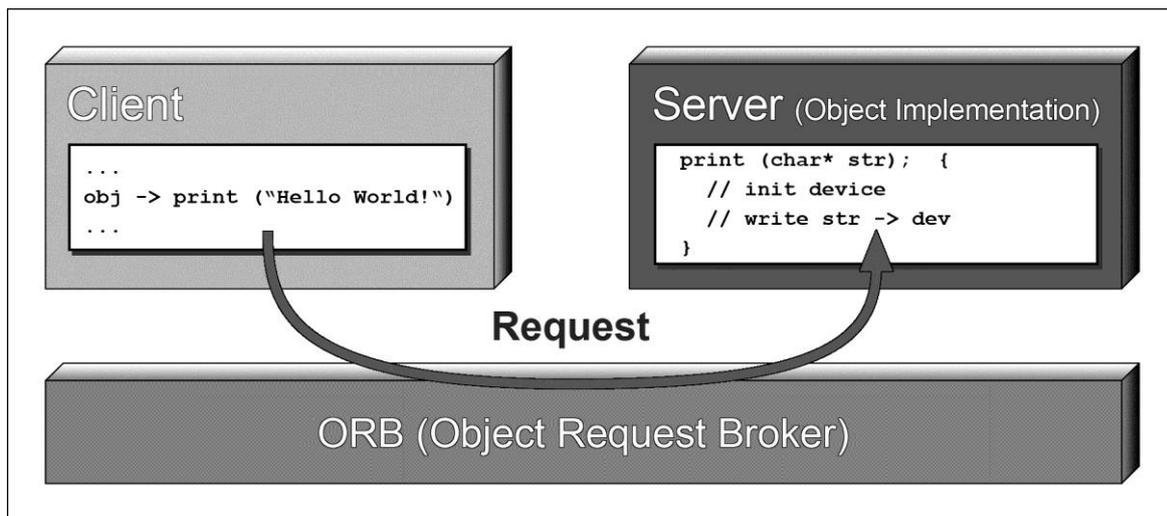


Abb. 5: Vom Lokalen zum Verteilten Objektsystem.

„greeter“, die mittels einer Methode „print“ einen Begrüßungstext übernimmt und diesen dann dort auf dem Bildschirm ausgibt, remote zugreifbar gemacht. Aufgabe des OBR ist es, den Aufruf der Methode „print“ an das entfernte Objekt der Klasse „greeter“ für einen zugreifenden Client transparent zu machen. Dazu wird eine systemweit eindeutige Objektreferenz generiert, die dann an eine lokale Stellvertreter-Variablen – ein sogenanntes Proxy-Objekt – gebunden wird. Im Beispiel wäre dies die Variable „obj“, die nach der Bindung über die Middleware auf das entfernte Objekt zeigt. Im zweiten Schritt kann dann der Zugriff auf die entfernte „print“-Methode erfolgen (im Beispiel über den Pfeiloperator). Für das Client-Programm ist dieser Aufruf identisch mit dem Aufruf einer lokalen Methode. Die „Umleitung“ wird über die Middleware, sprich den Object Request Broker (ORB) abgewickelt.

Im Einzelnen muss die Middleware hier u. a. folgendes leisten:

- Entfernte Objekte lokalisieren und identifizieren,
- Zustellung des Requests, d. h. Methodenaufruf in der Objekt-Implementierung,
- Übertragung der Aufruf-Daten über das Netzwerk,
- Typkonvertierung zwischen Client und Server,
- Serialisierung und Übertragung der Aufrufparameter an die entfernte Methode,
- Zurücklieferung der Ergebnisse des Methodenaufrufs (Marshalling/Un-Marshalling).

Die bekanntesten Umsetzungen dieser Middleware-Kategorie sind zum einen das vollständig in die Programmiersprache JAVA integrierte Konzept der Remote Method Invocation (RMI), das Distributed Component Object Model (DCOM) der Firma Microsoft sowie die von der Object Management

Group (OMG) spezifizierte Common Object Request Broker Architecture (CORBA). Während es sich sowohl bei JAVA-RMI als auch bei DCOM um herstellerspezifische, proprietäre Implementierungen handelt, stellt die OMG mit CORBA eine allgemeine Spezifikation zur Verfügung, die von ganz unterschiedlichen Anbietern in Middleware-Produkte umgesetzt wird.

3.6 Komponentenorientierte Middleware

Das objektorientierte Konzept stellte zwar einen Quantensprung in der Entwicklungsgeschichte von Middleware dar. Allerdings stellt die Entwicklung einer auf dem Verteilten Objektmodell basierten Anwendung eine recht schwierige Aufgabe dar, was insbesondere auf die komplexe „Verdrahtung“ (englisch: plumbing) der kooperierenden Objekte zurückzuführen ist. Diese muss schon zum Entwurfszeitpunkt konzipiert und dann mit entsprechenden programmier-technischen Werkzeugen, die Middleware-Produkte typischerweise zur Verfügung stellen, in lauffähige Software umgesetzt werden (Compile Time Binding).

Die Weiterführung dieses Ansatzes, die statt komplizierter „Verdrahtung“ ein vergleichsweise einfaches „Zusammenstecken“ von bereits komplett lauffähigen SW-Artifakten zu einer Verteilten Gesamtanwendung ermöglicht, ist Kern des komponentenorientierten Middleware-Konzeptes. Abbildung 6 zeigt die typische Architektur einer verteilten Komponentenanwendung.

In dieser sog. 3-Schichtenarchitektur sind die Komponenten unterteilt in die eigentlichen Geschäftskomponenten (Business Components), die im Zusammenspiel die Geschäftslogik der integrierten Anwendung bilden, die Präsentationskompo-

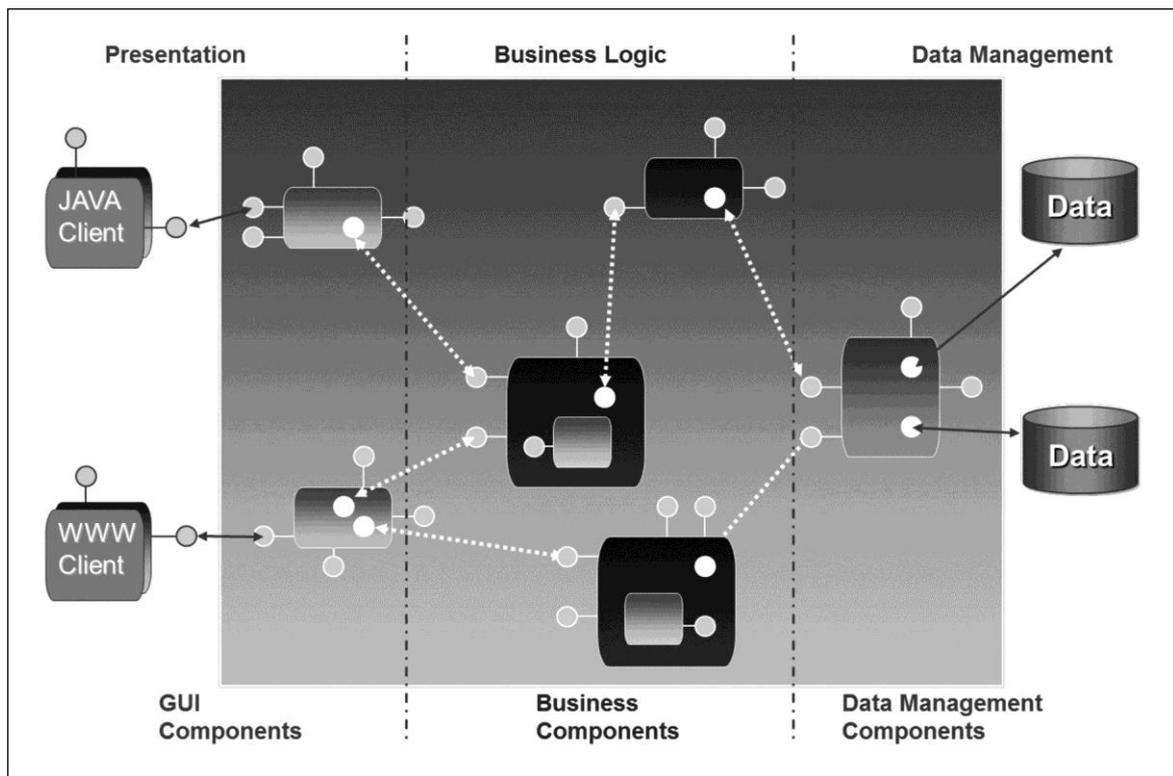


Abb. 6: Typische Architektur einer komponentenbasierten Anwendung.

nenten (Graphical User Interface – GUI), die dem Anwender den Zugriff ermöglichen, sowie die für das Daten Management verantwortlichen Komponenten, die den Zugriff auf die unterschiedlichen Datenhaltungssysteme koordinieren. Die „Lollipops“ stellen die Schnittstellen (Interfaces) dar, die eine Komponente zur Verfügung stellt.

Komponentenorientierte Middleware-Ansätze setzen auf dem Verteilten Objektmodell auf, führen dies aber deutlich weiter. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass eine Komponente ein in sich geschlossenes, ablauffähiges SW-Artefakt darstellt, was zur Laufzeit in eine entsprechende Zielumgebung verschoben und dort zur Ausführung gebracht werden kann – man spricht hier vom sog. Deployment.

Um dieses Konzept an einem einfachen Beispiel zu erläutern, stellen wir uns vor, wir loggen uns in ein Verbraucherportal ein, um dort ein Buch und evtl. noch eine DVD zu kaufen. Unser Web-Browser würde sich typischerweise zunächst auf den Web-Server des Portals aufschalten – diese beiden bilden dann im obigen Bild gesprochen die Präsentationsschicht. Haben wir unser Buch gefunden und wollen es nun in einen virtuellen Einkaufskorb legen, brauchen wir ein Exemplar der Geschäftskomponente „Shopping Cart“. Es muss also zur Laufzeit des Systems von der mittleren Schicht eine neue In-

stanz der Komponente „Shopping Cart“ erzeugt, initialisiert und an unsere Sitzung gebunden werden. Dazu bettet die zentrale Middleware-Schicht im Komponentenmodell – man spricht hier von Application Servern – die Komponenten in sog. Container ein, die die eigentliche Kernkomponente „managen“, d.h. in eine Umgebung einbetten, die sie geordnet erzeugen, initialisieren, bei Systemfehlern wieder restaurieren kann usw. Legen wir noch weitere Artikel in unseren Einkaufswagen oder wollen unseren Einkauf erst beim nächsten Mal fortsetzen, so könnte die Einkaufswagen-Komponente jetzt eine Datenhaltungskomponente mit einbinden, die die Daten unseres aktuellen Einkaufs persistent, d.h. nicht flüchtig zum Beispiel in einer Datenbank speichert.

In der Umsetzung dominieren zwei wesentliche Produktlinien von komponentenorientierter Middleware. Zum einen finden wir dieses Konzept integriert in der JAVA-Welt in der JAVA Enterprise Edition (JAVA EE), wo Komponenten dann auch nicht Components sondern Enterprise JAVA Beans heißen. Das JAVA Bean-Konzept findet sich in vielen führenden Application Server Produkten wieder. Die zweite Hauptlinie dieser Middleware-Kategorie stellt die Firma Microsoft mit ihrem .NET-Framework zur Verfügung, welches ebenfalls komplexe verteilte Anwendungen ermöglicht, aber stark mit der WINDOWS-Architektur verwoben ist.

3.7 Dienstorientierte Middleware/ Service Oriented Architecture (SOA)

Eine weitere Indirektionsstufe stellt die dienstorientierte Middleware dar. Grundidee hierbei ist es, als nutzender Client beispielweise zur Überprüfung einer Kreditkartennummer oder zur Abfrage der Verfügbarkeit eines Artikels in einem Lagersystem einen allgemeinen, d.h. von Implementierungsdetails völlig losgelösten Dienst (Service) zu adressieren, der über eine definierte Dienstschnittstelle (Interface) auf die Dienstfunktionen zugreift.

Die eigentliche Ausführung eines Dienstes erfolgt dann typischerweise als Aufruf von SW-Komponenten, die wiederum in ganz unterschiedlichen Systemumgebungen realisiert sein können (s. Abb. 7). Für den aufrufenden Client bleibt die Implementierung hier jedoch völlig transparent, er stützt sich ausschließlich auf die Dienstschnittstelle ab, d.h. er greift gewissermaßen in eine Wolke, in der Dienste adressierbar sind. Dieses Middleware-Konzept bildet somit auch die Grundlage des heute dominierenden Cloud Computing.

Die erste Generation der Umsetzung dieser Middleware-Konzeption waren sog. Web Services, die auf Internet-Technologien wie XML und HTTP basieren. Mit einem eigens entwickelten Protokoll (Simple Object Access Protocol – SOAP) ist es möglich, die Methoden eines entfernten Objektes über eine in XML codierte Aufrufsyntax an der Dienstschnittstelle zur Verfügung zu stellen (s. Abb. 8).

Ein Dienst-Provider beschreibt den zur Verfügung gestellten Service in einer speziellen Beschreibungssprache, der Web Service Description Lan-

guage (WSDL). Auf der Basis dieser (formalen) Schnittstellenbeschreibung kann ein aufrufender Client den für die Bindung an den Service erforderlichen Proxie-Code aus der WSDL, die er über ein Schnittstellen-Repository beziehen kann, generieren und so eine Laufzeitbindung an den Web Service herstellen (Run Time Binding).

3.8 RESTful Web Services

Eine weitere Entwicklungsstufe der serviceorientierten Middleware stellen Web Services dar, die dem sogenannten REST-Prinzip folgen. Man spricht dann auch von RESTful Web Services. Im Mittelpunkt dieser Umsetzung von SOA steht auch hier die Interface-Basierung. Die Schnittstelle wird hier zu einem „Application Programming Interface“ (API), einer dem REST-Prinzip folgende Implementierung, und dann zu einem „RESTful API“. Der allgemeine Architekturtrend geht momentan zu sogenannten Microservices, die – als RESTful Service umgesetzt – ein lose gekoppeltes Zusammenspiel völlig unabhängig voneinander entwickelter und umgesetzter Dienste möglich machen.

Ein Application Programming Interface (API) wird hier als *das* Interface eines (Micro-) Service interpretiert, welches darüber hinaus (idealerweise) dem Konzept des sogenannten Representational State Transfer (REST) genügen sollte. Letzteres wurde von *FIELDING [2000]* im Rahmen seiner Dissertation eingeführt.

Die Idee eines RESTful APIs basiert vereinfacht ausgedrückt darin, einen Service als Ressource im Sinne des World Wide Webs (WWW) zu inter-

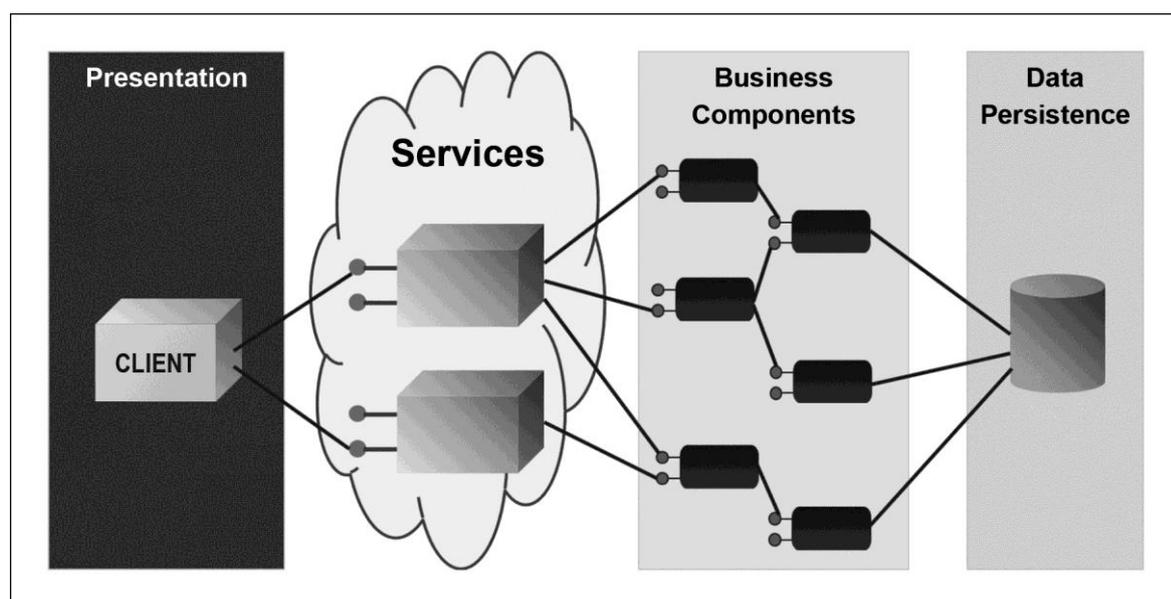


Abb. 7: Architektur einer dienstorientierten Middleware (SOA).

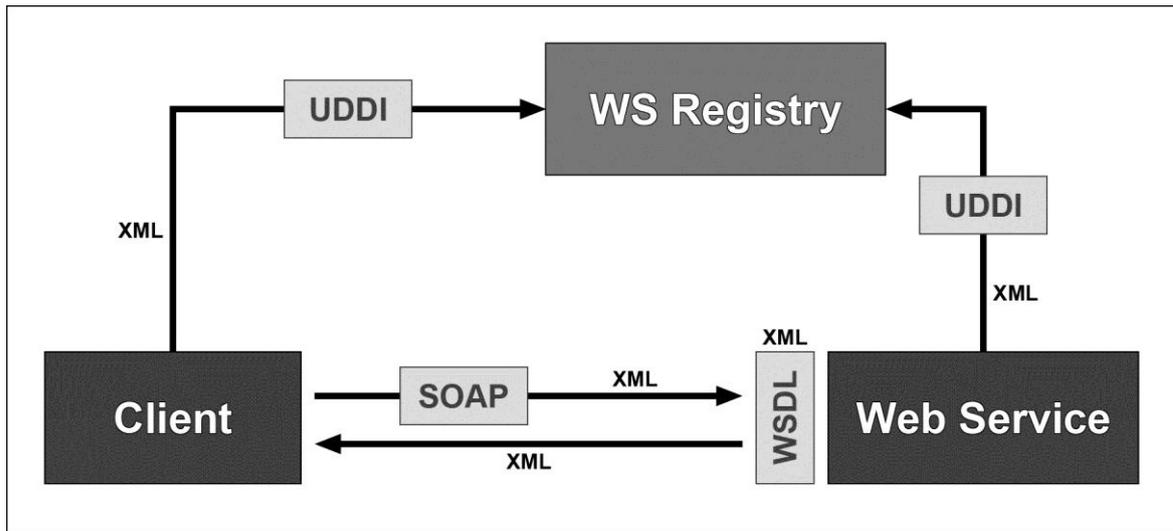


Abb. 8: Klassische Web Service Architektur.

 Google Maps Elevation API

Höhendaten für jeden Punkt auf der Welt.

https://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/json?locations=39.7391536,-104.9847034&key=YOUR_API_KEY

```
{
  "results" : [
    {
      "elevation" : 1608.637939453125,
      "location" : {
        "lat" : 39.73915360,
        "lng" : -104.98470340
      },
      "resolution" : 4.771975994110107
    }
  ],
  "status" : "OK"
}
```

<https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/start>
Letzter Zugriff: 20.11.2017

Abb. 9: API-Aufruf am Beispiel Google Maps.

pretieren. Über die verschiedenen Aufrufe an der API-Schnittstelle wird die Ressource – beispielsweise der im Beispiel oben angedeutete Warenkorb – angelegt, geändert, gelöscht usw.

Der wesentliche Vorteil liegt darin, dass die WWW-Grundarchitektur sowie das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) genutzt werden können. Die Schnittstelle ist für alle Dienste grundsätzlich identisch, Aufrufe an einen REST-Server folgen den Grundelementen des HTTP-Protokolls (GET, POST, DELETE). Zentral ist zudem die Forderung, dass im Zusammenspiel zwischen einem aufrufenden Client und dem RESTful Dienst keine Zustände gespeichert werden. Oder anderes herum ausgedrückt, alle Information, die der Service zur Ausführung einer gewünschten Schnittstellenoperation benötigt, muss immer im individuellen, an ihn gerichteten Aufruf enthalten sein. REST definiert darüber hinaus noch einige weitere Anforderungen, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll (näheres dazu in *FIELDING [2000]*).

Das folgende abschließende Beispiel (siehe Abb. 9) zeigt einen Aufruf des Google Maps Elevation APIs, welches für einen beliebigen Ort (im Beispiel ist es Denver/Colorado) die Höhe (Elevation) des Ortes liefert. Der Aufruf des Dienstes erfolgt hier per HTTPS über die URL des Dienstes mit zusätzlicher Übergabe der Parameter ('locations' in Form von longitude/latitude). Der Dienst liefert sein Ergebnis in Form von JSON (JavaScript Object Notation) zurück. JSON dominiert in diesem Paradigma mittlerweile zunehmend, da immer öfter JavaScript zum Einsatz kommt. Üblich sind aber beispielsweise auch XML- oder HTML-basierte Repräsentationen der Ressourcen.

Literatur / Quellen

FIELDING, Roy Thomas [2000]: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Dissertation, University of California, Irvine. – Online-Publikation. <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> – letzter Aufruf: 20.11.2017

GALL, Nick [2003]: The Origin (Coining) of the Term "Middleware". – Online-Publikation. http://ironick.typepad.com/ironick/2003/11/the_origin_coin.html – letzter Aufruf: 13.11.2017

LINTHICUM, David S. [1999]: Enterprise Application Integration. Addison-Wesley, Reading (Mass.), XVII, 377 S. ISBN: 978-0-201-61583-8

NAUR, Peter / RANDELL, Brian (Eds.) [1969]: Software Engineering: report on a conference sponsored by the NATO Science Committee, Garmisch, Germany, 7th to 11th October 1968. NATO Scientific Affairs Division, Brussels, 231 S.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. ANDREAS KARCHER
 Universität der Bundeswehr München
 Fakultät für Informatik
 Institut für Angewandte Informatik
 Professur für Softwarewerkzeuge und Methoden für Integrierte Anwendungen
 D-85577 Neubiberg
 Tel.: +49 / (0)89 / 6004 – 2208
 Fax: +49 / (0)89 / 6004 – 3036
 E-Mail: andreas.karcher@unibw.de

Uwe G. F. Kleim

Die Erstbesteigung des Kamerunberges



Abb. 1: Der Kamerunberg [WARD, 2017].

Zusammenfassung

Angeregt durch Prof. REINHARDT'S Begeisterung für die Berge beschreibt der vorliegende Beitrag die Erstbesteigung des Kamerunberges (Abb. 1) an der Küste des Golfes von Guinea durch den englischen Naturforscher und Sprachwissenschaftler Sir RICHARD FRANCIS BURTON [1821-1890] und den deutschen Botaniker GUSTAV MANN [1836-1916] 1861/62. Zunächst wird das Kamerungebirge geographisch, geologisch und klimatologisch beschrieben, danach folgen einige Anmerkungen zur Geschichte dieses Gebietes, gefolgt von kurzen Lebensläufen der Expeditionsteilnehmer. Anschließend wird geschildert, wie dieser mit 4.070 m höchste Berg Westafrikas zum ersten Mal bestiegen wurde. Der Verfasser stützt sich dabei vor allem auf die Veröffentlichungen von BURTON [1863], HOOKER [1864], MANN [1859-1863; 1863] und PETERMANN [1863; 1865].

Summary

Inspired by Prof. REINHARDT'S enthusiasm for the mountains, this paper describes the first ascent of the Cameroon Mountain (Fig. 1) on the coast of the Gulf of Guinea by the English naturalist and linguist Sir RICHARD FRANCIS BURTON [1821-1890] and the German botanist GUSTAV MANN [1836-1916] 1861/1862. First, the Cameroon Mountains are described geographically, geologically and climatologically, followed by a few notes on the history of this area and the short biographies of the expedition participants. Then a report of the first ascent of this, with 4.070 m highest mountain in West Africa, is given. The main sources of this paper are the publications of BURTON [1863], HOOKER [1864], MANN [1859-1863; 1863] and PETERMANN [1863; 1865].

1. Einleitung

Die Begeisterung Prof. REINHARDT'S für das Hochgebirge, vor allem für die Alpen, die er schon oft zu Fuß und mit dem Fahrrad durchstreift und mit seinen Mitarbeitern zu über einem Dutzend wissenschaftlicher Kolloquien besucht hat, sowie das Vorhaben, eine ausführliche Biographie über GUSTAV MANN zu erstellen, die leider noch immer fehlt, haben den Autor dazu angeregt, Teile der bisher zu GUSTAV MANN erhobenen Daten in einer Dokumentation der Erstbesteigung des Kamerunberges in dieser Festschrift zu veröffentlichen. Möge diese Arbeit dazu beitragen, dass sich der hier Geehrte auch im Ruhestand weiter an der imposanten Welt der Berge erfreut, vielleicht auch am Kamerunberg.

2. Das Kamerungebirge

2.1 Geographische und geologische Übersicht

Der Kamerunberg, auch Fako oder Mongo-ma-Lobe (Berg der Götter) genannt, ist mit 4.070 m die höchste Erhebung des Kamerungebirges und Westafrikas. Der älteste aktive Vulkan der Erde liegt auf $4^{\circ}13'$ nördlicher Breite und $9^{\circ}10'$ östlicher Länge unweit nördlich des Äquators direkt an der Westküste Kameruns, an der Bucht von Biafra, am östlichen Ende des Golfes von Guinea (Abb. 2).

Das gesamte Kamerungebirge, das sich zwischen 4° und $4^{\circ}28'$ nördlicher Breite sowie 9° und $9^{\circ}30'$ östlicher Länge ausdehnt, bedeckt mit einer Längenausdehnung von über 50 km von Südwest

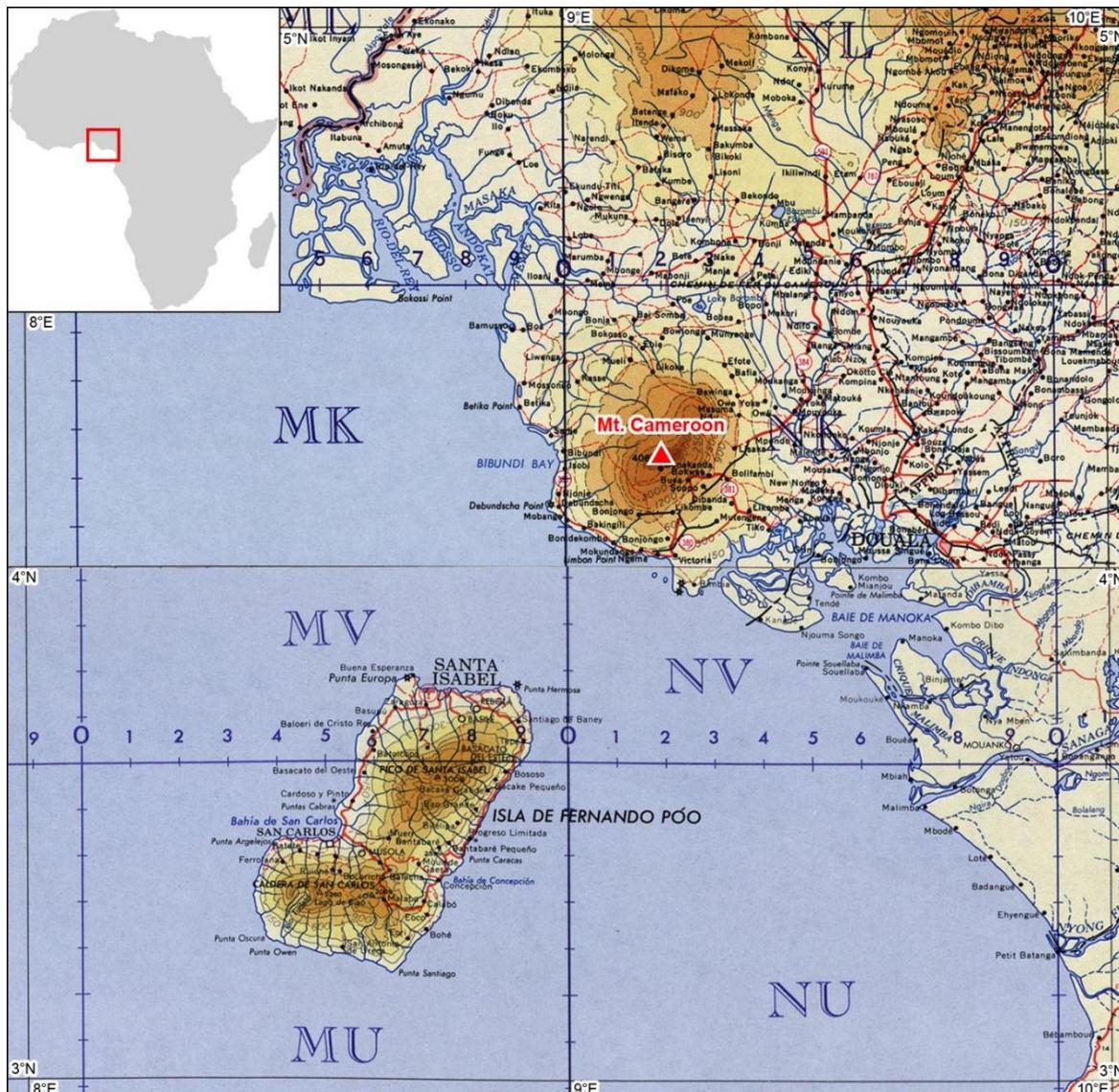


Abb. 2: Kamerunberg – Geographische Übersicht.
[Internationale Weltkarte 1:1 Mio., Blatt NA-32 Libreville, 1963, und Blatt NB-32 Douala, 1962, verkleinert auf 1:1,5 Mio.]

nach Nordost und einer Breite von über 35 km eine Fläche von fast 2.000 qkm. Der höchste Gipfel, der Kamerunberg, zu deutschen Kolonialzeiten Albertspitze genannt, trägt zeitweise eine Schneehaube und ist meistens in Nebel gehüllt. Südwestlich von diesem, zur Küste hin abfallend, liegt der Kleine Kamerunberg (1.774 m), der Mongo-ma-Etinde oder nur Etinde genannt wird. Das ganze Massiv besteht aus mehr als 75 Vulkankegeln. Der Grundstock des Kamerunberges besteht aus einer auf präkambrischem metamorphem Grundgestein aufliegenden Mischung aus Basalt und Trachyt. In den unteren Regionen ist dieser mit kreidigen bis quartären Sedimenten bedeckt [SMITHSONIAN INSTITUTION, 2013], in den oberen ist er mit Lavaströmen und Tuffmassen überzogen.

Dieses Vulkanmassiv liegt in einer ebenfalls von Südwesten nach Nordosten gerichteten Schwachzone der Erdkruste, der sogenannten Kamerunlinie (Abb. 3). Auf dieser seit 40 Millionen Jahren aktiven, 1.600 km langen Linie, die von den Inseln Annobón, São Tomé, Príncipe und Bioko im Golf von Guinea bis ins Becken des Tschadsees reicht, reihen sich mehrere Vulkanmassive aneinander. Im Bereich dieser zentralafrikanischen Scherzone treffen drei in unterschiedlichen Richtungen verlaufende, auf die afrikanische Platte wirkende Kräfte aufeinander:

- von Nordosten durch das Auseinanderdriften der arabischen und afrikanischen Platte im Bereich des Roten Meeres,
- von Südosten durch das Auseinanderdriften der Somalipalte und der afrikanischen Platte im Bereich des ostafrikanischen Grabens,
- von Südwesten durch das Auseinanderdriften der amerikanischen und afrikanischen Platte im Bereich des mittelatlantischen Rückens.

Zwei Theorien wurden für das Vorhandensein des Vulkanismus am Kamerunberg aufgestellt, dessen erster Eruptionsherd der Etinde gewesen ist. Die Ausbruchsstellen folgen einer Linie von Südsüdwest nach Nordnordost, woraus geschlossen wurde, dass sich die vulkanische Aktivität langsam von Westen nach Osten verschoben hat [SCHNEE, 1920, Bd. II, S. 219]. Die erste Theorie ist die Drifttheorie mit dem Benue-Graben als Ursache [HUBMANN/FRITZ, 2015, S. 46-47]. Dem gegenüber steht die Hotspot-Theorie [SZEGLAT, 2012], wonach im oberen Erdmantel unter dem Kamerungebirge ein besonders heißer Bereich vermutet wird [COURTILLOT et al., 2003]. Nach VANDER ZWAN et al. [2014] kann aber der Vulkanismus der Kamerunlinie weder durch Plattentektonik und Kontinentaldrift noch durch die Hotspot-Theorie allein erklärt werden. Das Phänomen bedürfe noch weiterer intensiver

Forschung. Die bedeutendsten Vulkane der Kamerunlinie sind von Nordosten nach Südwesten:

- Oupay (1.494 m) im Mandara-Gebirge,
- Wiga Hill (817 m) auf dem Biu-Plateau,
- Dimlang (2.049 m) im Shebshi-Gebirge,
- Tchabal Nganha (1.927 m) auf dem Ngaundéré-Plateau im Hochland von Adamaua,
- Tchabal Mbabo (2.460 m) im westlichen Hochland von Adamaua,
- Gotel Berge (2.418 m),
- Mambila Berge (1.821 m),
- Kilum (3.011 m) im Oku-Massif im Bamenda-Hochland, dessen beide Kraterseen 1984 (Manoun-See) und 1986 (Nyos-See) schlagartig Kohlendioxyd freisetzten, woran mehr als 1.700 Menschen starben [SCHLÜTTER, 2006],
- Méléta (2.740 m) im Bamboutu-Massif,
- Manengouba (2.411 m) am Rande des Tombel Grabens mit zwei konzentrischen Gipfel-Calderen,
- Mount Kupe (2.064 m) in den Bakossi Bergen,
- Kamerunberg oder Fako (4.070 m),
- Etinde oder Kleiner Kamerunberg (1.715 m),
- Pico Basile (3.011 m) auf der Insel Bioko, letzter Ausbruch 1923,
- Pico de Príncipe auf der Insel Príncipe (948 m),
- Pico de São Tomé (2.024 m) auf der Insel São Tomé,
- Pico Quioveo (598 m) auf der Insel Annobón.

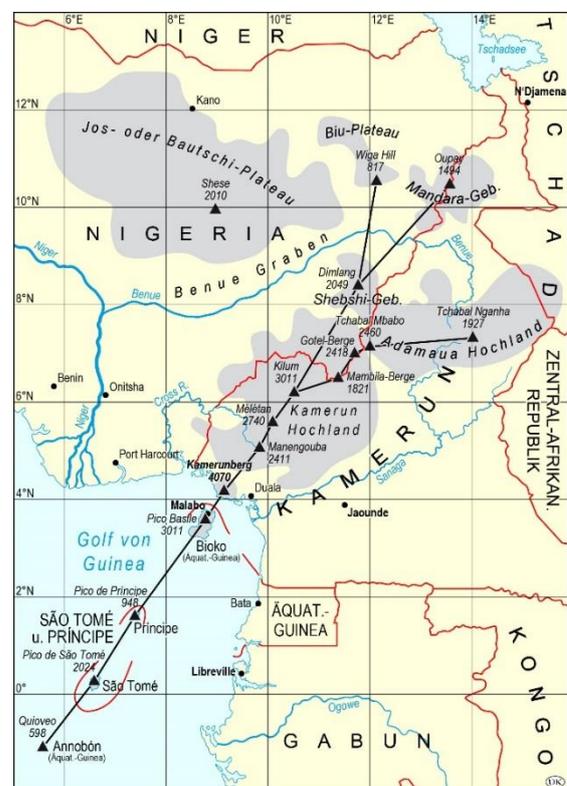


Abb. 3: Die Vulkanreihe der Kamerunlinie, Maßstab: 1:15 Mio.

Das höchste dieser Vulkanmassive bildet das Kamerungebirge, das als landfest gewordene ehemalige Insel das nordwestliche Kamerun-Tiefland in zwei Abschnitte teilt. Nördlich des Gebirges liegt das Becken des Ndian, der sich in seinem Mündungsgebiet in zahlreiche Arme aufgliedert – Rio del Rey, Ngosso, Andokat – und durch seine Ablagerungen großenteils versumpfte Anschwemmungsgebiete mit Mangrovendickichten bildet. Südöstlich des Kamerunberges befindet sich das Douala-Bekken, wo Mongo und Wouri sowie etliche kleinere Flüsse münden und ebenfalls zahlreiche versumpfte Sandbänke und Lagunen bilden. Dazwischen liegt der Kamerunberg, der bis an die Küste heranreicht und dort zahlreiche Kaps, Klippen und vor der Küste kleine felsige Inseln bildet, Überreste alter Lavaströme, die der Brandung des Meeres besser widerstehen können als die dazwischenliegenden Tuffgesteine. Dagegen stellt die Amba-Bucht einen durch die Brandung zerstörten alten Kraterring dar.

Am Fuß des Massivs finden sich, bedingt durch den Vulkanismus, äußerst fruchtbare Böden, die einen Plantagenanbau begünstigen. Das hat zur Folge, dass die zum Zeitpunkt der Erstbesteigung vorhandenen Regenwälder des Tieflandes heute fast gänzlich Ölpalmen und Kautschukbäumen gewichen sind. Demgegenüber ist der Regenwald an den von Schluchten und Tälern durchzogenen Berghängen bis zu einer Höhe zwischen 2.200 und 2.700 m noch größtenteils erhalten. Allerdings sind auch hier durch Brandrodung Anbauflächen für Bananen, Yamswurzeln und Ndolé – ein spinatähnliches Gemüse – entstanden. Oberhalb der angegebenen Höhen ist ein abrupter Vegetationswechsel erkennbar. Die Steilhänge weisen überwiegend einen brusthohen Grasbewuchs auf mit nur noch vereinzelt Bäumen. Daran schließt sich ein zerklüftetes Plateau an, aus dem sich die einzelnen Vulkankegel mit Asche- und Lavafeldern erheben, zwischen denen sich niedere Gräser ausbreiten. An den Gipfeln der Vulkankegel finden sich nur noch Flechten.

Die Bevölkerung rund um das Kamerungebirge gliedert sich in zahlreiche ethnische Gruppen von Bantu-Negern, von denen die in dem Gebiet vom Ästuar des Rio del Rey im Westen bis zum Kamerun-Ästuar, der Baie de Manoko, im Südosten beheimatete ethnische Gruppe der Duala-Neger hervorzuheben ist. Diese gliedert sich von Westen nach Osten in die Volksgruppen der Bakole, Bamboko, Bakweri, Wovea, Isubu oder Bimbria, Mungo, Duala und Limba [WIKIPEDIA, 2011-2016]. In den nördlich an das Kamerungebirge angrenzenden Gebieten sind die Stämme der Bakundu, Balong und Lombe beheimatet.

Die 1858 an der Küste der Amba-Bucht gegründete Missionsstation Victoria hat sich zur

96.000 Einwohner (Stand: 2005) zählenden bedeutenden Hafenstadt Limbe entwickelt. Die bereits im 18. Jahrhundert bestehende große Eingeborenen-siedlung Buea an den Osthängen des Gebirges erfuhr durch die Verlegung der deutschen Kolonialverwaltung von Douala nach Buea im Jahr 1901 einen großen Aufschwung und zählt heute über 50.000 Einwohner (Stand: 2005).

2.2 Klimatologische Übersicht

Infolge seiner isolierten Lage und seiner Höhe bildet der Kamerunberg eine klimatische Insel. Die Gipfelregion steht unter dem Einfluss des Nordostpassates. Dieser bringt starke Abkühlung und nur geringe Niederschläge. Hier sind nur wenige Quellen anzutreffen, da das Regenwasser in dem porösen Vulkangestein rasch versickert. Der untere Teil des Berges liegt im Bereich regenreicher Seewinde, die in der Regenzeit von März bis November 2.000 bis 11.000 mm Niederschlag im Jahr heranführen. Dieser Bereich zählt zu den regenreichsten Gebieten der Erde. Die Temperaturen liegen durchschnittlich bei 22° bis 29°C, wogegen es in der Gipfelregion nachts empfindlich kalt werden kann. Eine Schneebedeckung tritt nur selten auf.

2.3 Historischer Abriss

Der karthagische Seefahrer HANNO [vor 480 - ca. 440 v. Chr.] soll um 470 v. Chr. erstmals Zeuge eines Ausbruchs des Kamerunberges gewesen sein. In seinem in einer griechischen Handschrift aus dem 9. Jahrhundert überlieferten Reisebericht¹ heißt es [BAYER, 1993]:

„Rasch fuhren wir ab und kamen an einem Land vorbei, das von Feuer durchglüht und voll von Rauch war. Riesige Feuerbäche stürzten aus ihm ins Meer. Den Boden aber konnte man vor Hitze nicht betreten.

Voller Furcht segelten wir auch von da schnell wieder ab. Vier Tage lang dahinfahrend, sahen wir nachts das Land von Flammen erfüllt. In der Mitte aber war ein steil aufsteigendes Feuer, größer als alle anderen, das – wie es schien – die Sterne in Brand setzte. Am Tage aber zeigte es sich als ein sehr hoher Berg, 'Götterwagen' (Theōn Óchēma) genannt.

Drei Tage lang segelten wir von dort an feurigen Sturzbächen entlang und gelangten dann an eine Bucht, die 'Horn des Südwindes' (Nótū Kéras) hieß.“

¹ Es handelt sich hier um den „Hanno Carthaginiensis, Periplus“ im Codex Palatinus Graecus 398, fol. 55r-56r, der in der Universitätsbibliothek Heidelberg verwahrt ist. [<http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/cpgraec398>]

1472 entdeckte der portugiesische Seefahrer FERNANDO PÓO als erster Europäer die nach ihm benannte Insel (heute: Bioko) vor der Küste Kameruns. Seit Ende des 16. Jahrhunderts trieben die Holländer mit den Küstenstämmen regen Handel, wobei es ihnen vor allem um Pfeffer, Elfenbein und Sklaven ging. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts kam die Küstenregion Kameruns unter britischen Einfluss. 1827 wurde unter der Leitung von WILLIAM FITZWILLIAM OWEN [1774-1857], der die west- und ostafrikanischen Küsten erkundet hatte, Port Clarence (heute: Malabo) als Flottenstützpunkt gegen den Sklavenhandel auf Fernando Póo angelegt. Von hier aus gründeten Baptistenmissionare erste Siedlungen auf dem Festland (1858: Victoria). 1842 veröffentlichte Captain WILLIAM ALLEN [1792-1864] eine genaue Karte der Mündung des Kamerunflusses und der Ambas Bucht [ALLEN, 1842] und 1848 eine Beschreibung der Küstenregion am Kamerungebirge [ALLEN/THOMSON, 1848].

1847 machte JOSEPH MERRICK [1808-1849], der 1844/45 die erste Baptistenmission in Bimbia gegründet hatte, den ersten Versuch, den Berg zu besteigen. Nachdem er das Urwaldgebiet durchquert hatte, mussten er und seine Begleiter wegen Wassermangels umkehren [BURTON, 1863, S. 50]. 1861 hatte der deutsche Botaniker GUSTAV MANN [1836-1916] seinen ersten Versuch unternommen, den Kamerunberg zu besteigen. Am 10. Februar erreichte er auf ca. 750 m Höhe die Dörfer Makunda und Bando. Dort musste er aber umkehren, da er vom britischen Foreign Office zum Bagru Fluss in Sierra Leone beordert wurde [PETERMANN, 1865, S. 23]. Im Januar 1862 gelang nach den heute einschlägigen Quellen dem britischen Naturforscher und Sprachwissenschaftler Sir RICHARD FRANCIS BURTON [1821-1890] gemeinsam mit GUSTAV MANN die Erstbesteigung des Kamerunberges (siehe Kapitel 4). Als erste Frau erreichte die britische Ethnologin MARY KINGSLEY [1862-1900] 1895 den Gipfel [KINGSLEY, 1897, S. 548-608]. Heute wird der Berg jedes Jahr von bis zu 2.000 Bergsteigern und Touristen bezwungen, auf dessen Hauptgipfel mittlerweile zahlreiche ausgewiesene Routen führen.

Am 14. Juli 1884 schloss der deutsche Afrikaforscher GUSTAV NACHTIGAL [1834-1885] als kaiserlicher Kommissar Schutzverträge mit den Duala-Häuptlingen ab, womit Kamerun deutsches Schutzgebiet wurde. Er kam dabei den Briten um fünf Tage zuvor. Die Erschließung des Hinterlandes vollzog sich allmählich in den nächsten 30 Jahren. 1901 wurde der Verwaltungssitz von Duala in das in einem besser verträglichen Klima liegende Buea an den Osthängen des Kamerunberges verlegt. Nach dem Ersten Weltkrieg fiel das Gebiet zu vier Fünftel an Frankreich und zu einem Fünftel an Großbritannien.

1960 wurde der französische Teil unabhängig und 1961 entschied sich die Bevölkerung des südlichen Teiles des britischen Gebietes für einen Anschluss an Kamerun, weshalb heute Französisch und Englisch die Amtssprachen in Kamerun sind.

Die meisten der Vulkane der Kamerunlinie gelten heute als erloschen. Lediglich der Pico Basile auf Bioko und der Kamerunberg sind noch aktive Vulkane. Die letzten Ausbrüche des Pico Basile ereigneten sich in den Jahren 1898, 1903 und 1923 jeweils an seiner Südost-Flanke. Der Kamerunberg ist wesentlich aktiver. Seine letzten Eruptionen, die an verschiedenen Stellen des Berges stattfanden, waren 1852, 1866, 1868, 1871, 1909, 1922, 1925, 1954, 1959, 1982, 1989, 1999 und zuletzt vom 28. Mai bis zum 15. September 2000 [SMITHSONIAN INSTITUTION, 2013].

3. Die Expeditionsteilnehmer

Die Expedition zum Gipfel des Kamerunberges bestand aus dem britischen Orientalisten und Afrikaforscher RICHARD FRANCIS BURTON [1821-1890], dem deutschen Botaniker GUSTAV MANN [1836-1916], dem spanischen Juristen ATILANO CALVO ÍTURBURU [?-?] und dem britischen Baptistenmissionar ALFRED SAKER [1814-1880], deren Leben nachfolgend kurz skizziert wird, sowie aus zwei Dienern, einem Führer und 18 Trägern.

3.1 Sir RICHARD FRANCIS BURTON

Eine ausführliche Biographie über RICHARD FRANCIS BURTON (Abb. 4) stammt von seiner Frau ISABEL BURTON [1831-1896] [BURTON, I., 1893]. RICHARD FRANCIS BURTON wurde als ältestes von drei Kindern des Generalleutnants der britischen Armee JOSEPH NETTERVILLE BURTON [1782-1857] und dessen Frau MARTHA, geb. BAKER [*um 1800], am 19. März 1821 im englischen Torquai in der Grafschaft Devonshire geboren [WRIGHT, 1906, Bd. 1, S. 37]. 1840 wurde er in das Trinity College in Oxford aufgenommen, begann dort das Studium der arabischen Sprache, wurde aber 1842 wegen des Besuches von Pferderennen vom College ausgeschlossen. Im Oktober desselben Jahres trat er als Offizier in das 18. Infanterieregiment der Britischen Ostindien Kompanie ein. Während dieser Zeit lernte er verschiedene indische Sprachen und Persisch.

1849 ließ er sich beurlauben und lebte längere Zeit in Ägypten, wo er Arabisch lernte. Von dort aus reiste er 1853 als muslimischer Pilger verkleidet nach Medina und Mekka und lieferte eine detaillierte Beschreibung der Stätten [BURTON, R. 1855/56]. 1857 gab er sich zusammen mit JOHN HANNING

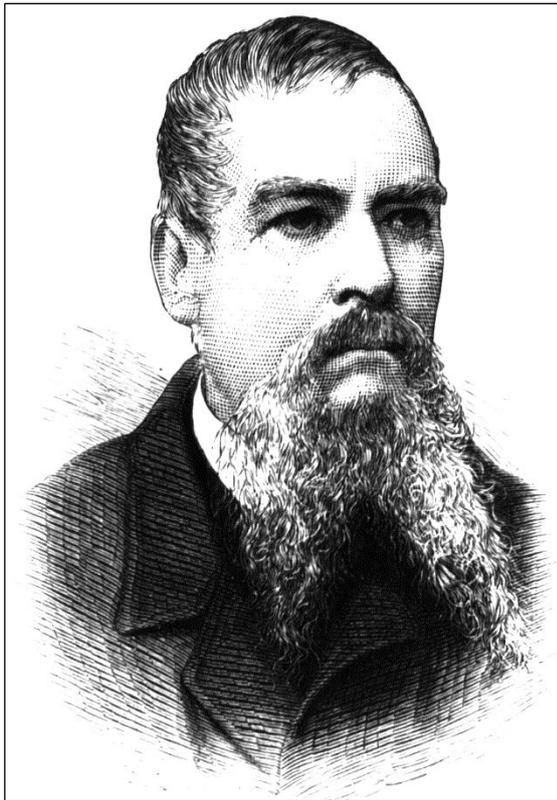


Abb. 4: Sir RICHARD FRANCIS BURTON [1821-1890]
[THE ILLUSTRATED LONDON NEWS, 1887, S. 96].

SPEKE [1827-1864] auf eine Expedition durch Ostafrika. Dabei infizierte er sich auf Sansibar mit Malaria. Im Februar 1858 entdeckten sie den Tanganjikasee, den BURTON für die Quelle des Nils hielt [BURTON, R., 1860]. Im Juli desselben Jahres trennten sie sich. Während BURTON nach Sansibar zurückkehrte, entdeckte SPEKE im August den Viktoriasee, den er als die Quelle des Nils ansah [SPEKE, 1863]. Ihre unterschiedlichen Theorien über die Nilquelle führten zwischen beiden zu einer erbitterten Feindschaft.

1861 heiratete er ISABEL ARUNDELL [1831-1896], deren Eltern gegen die Verbindung waren. Durch die Veröffentlichung der Reiseberichte ihres Mannes sowie ihrer eigenen sorgte sie für das Familieneinkommen. Aufgrund ihrer guten Kontakte wurde er 1861 zum britischen Konsul der Bucht von Biafra und der Bucht von Benin mit Sitz auf der Insel Fernando Póo (heute Bioko) ernannt. Von dort aus unternahm er Forschungsreisen ins Nigerdelta und bestieg zusammen mit GUSTAV MANN [1836-1916] als erster den Kamerunberg (s. Kap. 4) [BURTON, R., 1863]. Von 1865 bis 1869 war er britischer Konsul im brasilianischen Santos, von 1869 bis 1871 in Damaskus und von 1871 bis 1890 in Triest. Dort starb er am 20. Oktober 1890 an den Folgen eines Herzinfarktes.

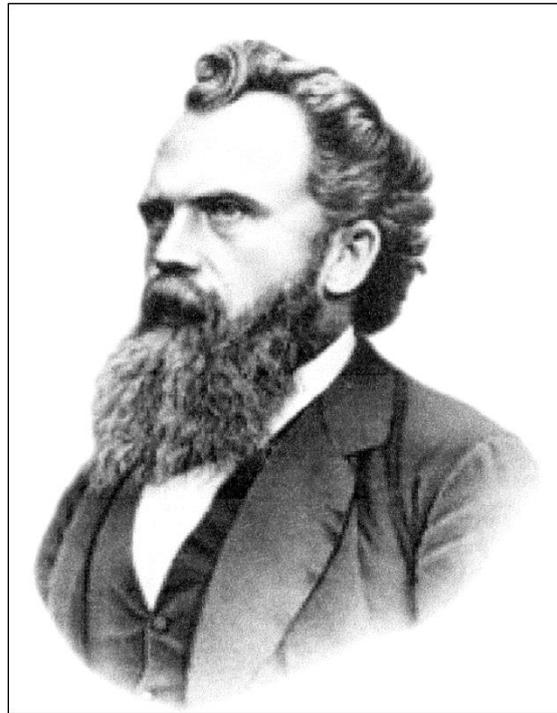


Abb. 5: HEINRICH GUSTAV ADOLPH MANN
[1836-1916] [CHEEK, o.J.].

3.2 HEINRICH GUSTAV ADOLPH MANN

GUSTAV MANN (Abb. 5) wurde am 20. Januar 1836 als zweites von zwei Kindern des Opfermanns und Dorfschullehrers JOHANN HEINRICH LUDWIG MANN [1801-1838] und dessen Frau DOROTHEA LUISE HENRIETTE, geb. NOÉ [1801-1869], in Rickensdorf im Herzogtum Braunschweig geboren [NLA WO, 2017]. Nach dem frühen Tod des Vaters übersiedelte die Familie nach Braunschweig, wo er nach Beendigung der Schulausbildung eine Gärtnerlehre absolvierte. 1853/54 wurde er Hilfgärtner in den Königlichen Gärten des Schlosses Herrenhausen bei Hannover [EMBACHER, 1882, S. 199]. Nach HEMSLEY [1916] soll er nach ein paar Jahren in Hannover bis 1859 im Botanischen Garten in Hamburg als Gärtner gearbeitet haben.

Vermutlich auf Vermittlung von HEINRICH LUDOLPH WENDLAND [1791-1869], der seit 1850 Leitender Königlicher Hofgarteninspektor der Herrenhäuser Gärten war, erhielt GUSTAV MANN am 15. April 1859 eine Anstellung in den Königlichen Gärten von Kew in London [HEMSLEY, 1917]. Bereits sechs Monate später wurde er als Ersatzmann für den erkrankten Botaniker CHARLES BARTER [† 1859] der Niger-Expedition 1857-59 von WILLIAM BALFOUR BAIKIE [1824-1864] nach Westafrika entsandt.

Da alle Versuche, mit BAIKIE Kontakt aufzunehmen, scheiterten [HERTSLET, 1865, S. 118], unternahm GUSTAV MANN zwischen 1860 und 1863 von

der Insel Fernando Póo aus, wo er beim britischen Konsul und spanischen Gouverneur THOMAS JOSEPH HUTCHINSON [1820-1885] Unterkunft gefunden hatte, zahlreiche Erkundungsreisen, über die er in seinen Briefen, die in Kew verwahrt sind, berichtet hat [MANN, 1859-1863] und die auch bei PETERMANN [1865] nachzulesen sind. So unternahm er sieben Versuche, den 3.011 m hohen Clarence Peak (span.: Pico de Santa Isabel; heute: Pico Basile) auf Fernando Póo zu besteigen, wobei er fünfmal den Gipfel des letztmals 1923 ausgebrochenen Vulkans erreichte, sowie von August bis Oktober 1860 eine Reise in die Mündungsgebiete des Nigers und des Bonny Rivers [MANN, 1859-1863; PETERMANN, 1865].

Weiters versuchte er bereits im Januar/Februar 1861, den Kamerunberg zu besteigen. Dieses Unternehmen musste er aber abbrechen, da er zum Bagru-Fluss in Sierra Leone beordert wurde. Der zweite Versuch von Dezember 1861 bis Januar 1862 zusammen mit RICHARD FRANCIS BURTON war jedoch von Erfolg gekrönt (s. Kap. 4).

Außerdem erforschte er 1861 das Mündungsgebiet des Gabun Rivers, die Inseln São Tomé und Príncipe und 1862 die Sierra del Crystal in Gabun und ein weiteres Mal den Kamerunberg. Anfang 1863 bereiste er dann noch das Mündungsgebiet des Calabar Rivers. Auf seiner Rückreise nach England bestieg er im April 1863 noch den Pico del Teide (3.718 m) auf Teneriffa, bevor er Ende Juni wieder in London eintraf [MANN, 1859-1863; PETERMANN, 1865].

Am 12. November 1863 heiratete er in Chichester MARY ANN STOVELL [† 1866]. Noch im selben Monat übersiedelte die Familie nach Darjeeling in Ostindien, wo ihr Sohn GUSTAV MANN [1864-1921] geboren wurde, den die Tulane Universität in New Orleans 1900 auf den Lehrstuhl für Physiologie berief [ARNOLD, 1927].

Von 1864 bis 1865 war GUSTAV MANN bei der britischen Forstverwaltung in Sikkim und von 1865 bis zu seiner Pensionierung 1891 bei derjenigen in Assam beschäftigt. Hier führte er botanische Erkundungsreisen im östlichen Himalaya, im Terai, eine Tieflandregion im südlichen Nepal und nördlichen Indien, sowie nördlich und südlich des Brahmaputra durch, wobei er auch die Naga-Berge an der Grenze zwischen Assam und Myanmar und die Khasi-Berge an der Grenze zwischen Assam und Bangladesh bestieg [HESMER, 1975, S. 81].

1891 kehrte GUSTAV MANN nach Deutschland zurück und ließ sich in München nieder, wo er seine zweite Frau HERMINE heiratete. Sie wohnten zunächst in der Romanstraße 24 und zogen 1910 in die Nymphenburger Straße 191. Große Teile seiner privaten Herbarien vermachte GUSTAV MANN der Botanischen Staatssammlung München, die 1917 auch

ein, wie der Konservator KARL VON SCHÖNAU [1885-1944] auf der Zugangsliste vermerkte, „prächtiges, gepflegtes Farnherbarium, das eine wohl fast vollständige Sammlung der Pteridophyten Vorderindiens enthält“ von der Witwe MANN ankaupte [HERTEL/SCHREIBER, 1988].

GUSTAV MANN starb am 22. Juni 1916 im Alter von 80 Jahren in München. Er wurde auf dem Münchner Ostfriedhof beigesetzt. HEMSLEY [1917] bezeichnete ihn als einen lebhaften, temperamentvollen, unermüdlich arbeitenden Perfektionisten. Und JOSEPH DALTON HOOKER [1817-1911], von 1865 bis 1885 Direktor der Königlichen Gärten in Kew, würdigte die Arbeit MANNs mit den Worten: „Der interessanteste Theil seiner Sammlung ist der von den gemässigten Gebirgsregionen an der äquatorialen Westküste, aber seine Bemühungen sind überhaupt von weit grösserem Erfolg gekrönt gewesen als die irgend eines früheren botanischen Forschers an der Afrikanischen Westküste, ...“ [PETERMANN, 1865, S. 22].

3.3 ATILANO CALVO ÍTURBURU

VON ATILANO CALVO ÍTURBURU, dem ältesten von zwei Kindern von MIGUEL CALVO und dessen Ehefrau RAMONA ÍTURBURU, sind nur wenige Lebensdaten bekannt. Er wurde im nordspanischen Logroño am Ebro geboren und studierte an der Universität Madrid Rechtswissenschaften. 1855 übersetzte er die „History of the Reign of Ferdinand and Isabella the Catholic, of Spain“ von WILLIAM HICKLING PRESCOTT [1796-1859] ins Spanische [FERNÁNDEZ/PORTO, 2004, S. 324]. Er war Berater, Sekretär und Richter bei JOSÉ DE LA GÁNDARA Y NAVARRO [1820-1885], dem spanischen Gouverneur von Fernando Póo, Annobón und Corisco. ATILANO CALVO meldete sich freiwillig und auf eigene Kosten zur Teilnahme an der Expedition auf den Kamerunberg und wurde dafür für einen Monat von seinen Diensten freigestellt [BURTON, 1863, S. 72].

3.4 ALFRED SAKER

ALFRED SAKER (Abb. 6) wurde am 21. Juli 1814 als Sohn eines Mühlenarbeiters und Ingenieurs im englischen Wrotham in der Grafschaft Kent geboren [UNDERHILL, 1884, S. 2]. 1834 wurde er Mitglied der örtlichen Baptistengemeinde. Nach dem Tode seines Vaters ging er als Konstruktionszeichner an die Werft in Devonport. 1840 heiratete er SARAH ANN HELEN JESSUP [1816-1886] [SAKER, 1908, S. 25]. 1843 fuhren beide im Auftrag der Baptist Missionary Society nach Jamaika, um entlassene, zum Christentum konvertierte Sklaven als Missionare nach Afrika zu bringen. Dort gründeten sie auf der Insel Fernando Póo eine Mission. Im Laufe der nächsten Jah-



Abb. 6: ALFRED SAKER [1814-1880]
[SAKER, 1908, S. 190].

re starben alle europäischen Priester an Malaria oder Ruhr, so dass ALFRED SAKER die Leitung übernehmen musste.

1858 wurden die protestantischen Baptisten von den Spaniern von der Insel Fernando Póo vertrieben. Unter der Führung von ALFRED SAKER gründeten sie auf dem afrikanischen Festland in der Ambas Bucht am Fuße des Kamerunberges die Missionsstation Victoria, aus der die heutige Stadt Limbe hervorgegangen ist. Als Kenner der Örtlichkeiten schloss er sich der Expedition zum Kamerunberg an. 1878 kehrte er mit seiner Frau nach England zurück, wo er am 12. März 1880 in Peckham, London, starb.

4. Die Erstbesteigung des Kamerunberges

4.1 Das Zusammentreffen von BURTON und MANN

GUSTAV MANN hatte die Insel Fernando Póo am 4. Dezember 1861 verlassen und war am nächsten Tag bei der Missionsstation Victoria an der Ambas Bucht an Land gegangen. Dort bereitete er sogleich den Aufstieg auf den Kamerunberg vor, den er ein Jahr zuvor hatte abbrechen müssen. Es gelang ihm jedoch nicht, geeignete Führer und ausreichend Träger zu finden. In der so erzwungenen Wartezeit erkundete er die Flora der Küstenregion an der Ambas Bucht.

RICHARD BURTON, der zuvor die Gegend um Abeokuta nördlich der ehemaligen nigerianischen Hauptstadt Lagos sowie das Nigerdelta bereist hatte, traf am 10. Dezember 1861 an der Missionsstation

Victoria ein, wo er zufällig mit GUSTAV MANN zusammentraf. Es stellte sich schnell heraus, dass sie das gleiche Ziel verfolgten, und so beschlossen sie, den Aufstieg auf den Vulkan gemeinsam zu unternehmen. BURTON wollte aber zunächst noch zum Kamerun-Fluss – die große Mündungsbucht des Wouri –, und so vereinbarten sie, dass MANN schon einmal aufbrechen, unterwegs botanische Studien vornehmen und vor dem eigentlichen Gipfelaufstieg auf BURTON warten sollte.

4.2 MANNs Aufstieg zum Kamerunberg

Am 13. Dezember 1861 begann GUSTAV MANN zusammen mit FRANCIS PINNOCK², einem Dolmetscher, sechs Kru-Männern³ und acht Eingeborenen den Aufstieg von Victoria aus über Bassumba nach Mapanya (Abb. 7), das man am 15. Dezember erreichte [MANN, 1864, S. 3; PETERMANN, 1863, S. 179]. Die Höhen bestimmte er unterwegs mit Hilfe eines Siedethermometers. In seinem Bericht [MANN, 1864] macht er ausführliche Angaben über die verschiedenen Pflanzen in dem Bereich zwischen Küste und 1.000 m, den hier sesshaften Volksstamm der Bakwiri sowie über das Dorf Mapanya, das damals lediglich aus sieben Hütten bestand und heute ca. 750 Einwohner (Stand: 2015) zählt.

Ein Ereignis in Mapanya hebt er hervor [PETERMANN, 1863, S. 180]. Seine scharlachroten Decken erregten bei den Dorfbewohnern allerhöchstes Interesse, so dass sie sich für den Erwerb gegenseitig überboten: zuerst ein Schwein, dann eine Ziege, dann einen kleinen Knaben und schließlich ein erwachsenes Mädchen [PETERMANN, 1863, S. 180]. Ob er eines dieser Angebote angenommen hat, ist nicht erwähnt.

Am nächsten Tag schickte er Herrn PINNOCK mit vier Kru-Männern zurück nach Victoria, wo sie auf BURTON warten und mit diesem zurückkehren sollten. Er selbst zog mit seinen restlichen Männern weiter über mit Gebüsch bewachsene Hügel, bis man in einen dichten Wald mit Farnen von drei bis sechs Metern Höhe gelangte. Auf 1.500 m Höhe hörte der Wald abrupt auf, und man stieß auf ein

² FRANCIS PINNOCK war ein aus Jamaika zurückgekehrter ehemaliger Sklave, der 1857 zusammen mit seiner Frau als Baptisten-Missionar nach Fernando Póo und 1860 nach Kamerun kam. Dort wurde er stellvertretender Leiter der Missionsschule in Victoria und Pfarrer. 1868 ging er zu einer Baptisten-Missionsstation in den Kongo. Über seine Lebensdaten ist nichts bekannt.

³ Die Kru sind ein afrikanischer Volksstamm, der ursprünglich in Liberia beheimatet war. Ab dem 16. Jahrhundert wurden sie von europäischen Schiffen als robuste und zuverlässige Besatzung angeheuert, so dass sie auch in anderen Regionen Westafrikas wie Guinea, Sierra Leone, Ghana und Nigeria ansässig wurden.

großes altes, in südsüdwestlicher Richtung verlaufendes Lavafeld. Sechs Stunden quälte man sich an dessen westlichem Rand einen sehr steilen Pfad zu einem Kegel hinauf, aus dem einst die Lava ausgetreten war, und der ca. 60 m aus einem in ca. 2.200 m Höhe gelegenen Plateau aufragt. Den nach Süden geöffneten Krater, der einen Durchmesser von ca. 90 m hatte, nannte er wegen seines dunklen Aussehens „Black Crater“ [PETERMANN, 1863, S. 180]. Von dort aus marschierte man noch weitere sechs Stunden weiter in nördlicher Richtung bis zu einem Krater, dessen Boden mit Gras bewachsen war. Unweit von diesem entdeckte GUSTAV MANN in 2.132 m Höhe eine Quelle: die nach ihm benannte „Mann-Quelle“ (Abb. 7).

Am 16. Dezember bestieg MANN den 2.828 m hohen Mount Helen, der sich ca. 3 km südsüdwestlich des Hauptgipfels erhebt (Abb. 7). Der Name wurde ihm am 24. Dezember 1861 von ALFRED SAKER gegeben, der damit seine Frau ehren wollte. Während MANN auf dem Gipfel war, den er fälschlicherweise für den Gipfel des Kamerunberges hielt, denn die ganze Umgebung war in dichtem Nebel verhüllt [BURTON, 1863, S. 94], liefen ihm seine Leute davon, so dass er sich zur Umkehr gezwungen sah. Noch am Abend desselben Tages erreichte er ohne Schuhe, die durch die scharfkantigen Lavabrocken zerschissen waren, und mit wunden Füßen wieder Mapanya.

4.3 Die Erstbesteigung des Kamerunberges durch BURTON und MANN

Am 18. Dezember 1861 kam BURTON zusammen mit CALVO vom Kamerun-Fluss zurück nach Victoria. Schon am nächsten Tag brachen beide in Begleitung von SAKER und mit zwei Dienern, einem Führer sowie 18 Trägern auf und erreichten am Abend Mapanya. Hier gab es große Schwierigkeiten, weitere Träger zu bekommen, denn MANN hatte sieben Zinnkoffer dabei, jeder etwa 50 cm lang und etwa 40 cm breit und tief, und sie waren sehr schwer, da sie Drahrahmen, Packpapier und kräftiges braunes Papier zum Verstauen und Trocknen der Proben enthielten. Für alle Lasten hätte man 25 Träger benötigt, man hatte aber nur noch 14. So entschloss sich die Gruppe am 20. Dezember 1861, die Herren CALVO und SAKER mit einem Teil der Ausrüstung vorauszuschicken, einen Lagerplatz zu suchen und die Träger wieder zurückzuschicken, während die anderen die restliche Ausrüstung bewachten [BURTON, 1863, S. 110-111]. Als in der Früh des nächsten Tages die Träger zurückkehrten, waren es fünf weniger: sie hatten sich aus dem Staub gemacht. Am Abend erreichte man das Lager und man hatte nur eine Kiste mit Reis zurücklassen müssen.

In Ermangelung der notwendigen Träger fassten sie am 22. Dezember den Entschluss, einige Vorräte in einem Depot an diesem Lagerplatz zurückzulassen. Dann brach man auf und kam durch den oben bereits erwähnten Farnwald. SAKER zeigte in dieser Höhenlage zwischen 1.500 und 2.000 m bereits erste Anzeichen der Höhenkrankheit.⁴ Der Aufstieg war bei der sengenden Hitze und der scharfkantigen Brocken des sich anschließenden Lavafeldes eine Tortur. So empfiehlt BURTON, dass man für das Begehen der Lavafelder besser Schuhe mit Holzsohle haben sollte, während sich für die Grasflächen in den Hochlagen Baumwoll- oder Leinenschuhe mit Flachs- oder Hanfsohlen, wie sie die spanischen Soldaten tragen⁵, besser geeignet wären [BURTON, 1863, S. 123]. Am Abend des 23. Dezembers erreichte man die von MANN entdeckte Quelle. Die Temperatur fiel in der kommenden Nacht auf 4°C. Hinzu kam ein heftiger, kalter Nordostwind. Dieser Witterung war die Kleidung nicht gewachsen; man froh und in der Früh war der nächtliche Tau durch die Decken gedrungen.

BURTON hielt diesen Ort an der Mann-Quelle als sehr geeignet für die Errichtung eines Sanatoriums für die an Fieber erkrankten Europäer in den Kolonien am Golf von Guinea. Da genügend Material für den Haus- und Straßenbau vorhanden sei, wäre er durchaus bereit, mit 300 Eingeborenen einen

S. 78/79:

Abb. 7: Der Süd-Abhang des Kamerun-Gebirges, Maßstab 1:200.000 (1,3-fach vergrößert) [LANGHANS, 1885, Tafel 18].

Der Aufstieg von BURTON und MANN ist durch eine rot unterlegte, strichpunktierte Linie dargestellt .

⁴ BURTON [1863, S. 121] verweist hier auf eine Äußerung des englischen Sprachtherapeuten Dr. JAMES HUNT [1833-1869], der in seiner „On Ethno-Climatology; or the Acclimatization of Man“ [HUNT, 1863] als Begründung dafür, dass der Europäer auf der Nordhalbkugel eher an der Höhenkrankheit leidet als die Einheimischen auf der Südhalbkugel (z.B. in Peru), angibt: „Dieser Unterschied zwischen der Nord- und Süd-Hemisphäre wird möglicherweise durch die unterschiedliche Anziehungskraft am Nordpol verursacht. Auf der nördlichen Hemisphäre führt der Aufstieg auf einen hohen Berg zu einem Anstieg des Blutes im Kopf und auf der südlichen Hemisphäre fließt mehr Blut zu den Füßen: das ist die Ursache, weshalb die Krankheit beim Besteigen eines Berges auf der Südhalbkugel nicht auftritt.“ Dass die Ursache der Krankheit im mit zunehmender Höhe sinkenden Luftdruck liegt, was zu einer Verengung der Blutgefäße und damit zu einer Verringerung der Sauerstoffaufnahme in der Lunge führt, war anscheinend noch nicht bekannt.

⁵ Diese Art Schuhe sind heute unter dem Namen Espadrilles als leichte Sommerschlupfschuhe bekannt.





S PERTHES
5.

Tafel 18.

gut begehbaren Weg dorthin anzulegen [PETERMANN, 1863, S. 181].

An Heilig Abend brach man gemeinsam zum Mount Helen auf. MANN, der diesen Kegel bereits am 16. Dezember bestiegen hatte, ging voraus. Während von unten Nebel heraufzog und den Kleinen Kamerunberg verhüllte, herrschte oben ein prachtvolles Wetter; aber der heftige Nordostwind, der ihnen das Atmen schwer machte, zwang sie dazu, sich Brillen aufzusetzen. Vom Gipfel bot sich ihnen ein prächtiger Ausblick über die zahlreichen Krater, Spalten, Schluchten, Lavabetten und Schlackefelsen. Und sie sahen im Norden den hoch aufragenden Kegel des Kamerungebirges, den Mongo-ma-Lobe, den Berg der Götter, der deutlich zwei Gipfel aufwies. Den rechten, niedrigeren benannten sie nach der britischen Königin VICTORIA [1819-1901] Mount Victoria, den linken, höheren nach deren Gemahl Prinz ALBERT VON SACHSEN-COBURG UND GOTHA [1819-1861] Mount Albert (Abb. 7), wobei sie nicht wussten, dass dieser zehn Tage zuvor gestorben war.

Am nächsten Tag, am 25. Dezember verließ SAKER die Gruppe und kehrte zur Missionsstation in Victoria zurück. MANN, der schon auf Fernando Póo am Tropenfieber erkrankt war, erlitt einen Rückfall und musste für einige Zeit das Bett hüten. BURTON und CALVO machten sich daher am 27. Dezember allein auf den Weg, den Gipfel des Kamerunberges in Angriff zu nehmen. Es war ein mühsamer Aufstieg über zahllose Lava- und Schlackefelder. Für CALVO waren die Anstrengungen zu groß, er blieb zurück und BURTON zog mit einem Kru-Mann alleine weiter. Unter großen Anstrengungen, „auf Händen und Füßen über die lockere Asche, die scharfen Schlacken und die Basalt- und Quarzkonglomerat-Felsen kletternd“ [PETERMANN, 1863, S. 181] erreichte er unter sengender Sonne um 13:30 Uhr den Gipfel des Mount Victoria. Der wütende Nordoststurm machte dort einen längeren Aufenthalt unmöglich, so dass BURTON schnell wieder den Rückweg antrat. Seine Füße waren derart zerschunden, dass CALVO und er nur mit Mühe erst in der Nacht wieder das Lager erreichten. Die Verletzungen waren so stark, dass BURTON das Lager für 30 Tage nicht mehr verlassen konnte.

Nachdem sich MANN wieder erholt hatte, begab er sich am 2. Januar 1862 zusammen mit CALVO zum Mount Isabel (Abb. 7, 3.177 m), in dessen Krater sie übernachteten. Am nächsten Tag schafften sie den Aufstieg auf den Mount Albert (Abb. 7, 3.991 m), den nach heutigen Messungen mit 4.070 m höchsten Punkt des Kamerungebirges. Dort stellten sie ein Minimum-Maximum-Thermometer⁶ auf,

konnten sich aber wegen des immer noch äußerst heftigen Windes und einer Temperatur von nur 7,5°C dort nicht länger aufhalten. Man stellte aber fest, dass die Westseite des Vulkankegels gänzlich vegetationslos war und nur aus Asche bestand.

Durch die Anstrengungen dieser beiden Tage erlitt MANN einen erneuten Fiebrückfall mit schwerem Durchfall. Am 5. Januar kam SAKER in Begleitung eines Herrn R. SMITH⁷ von Victoria zurück ins Gebirge. Beide erkrankten jedoch auch am Tropenfieber. Mittlerweile waren die Vorräte zur Neige gegangen, so dass man am 6. Januar einige Träger nach Victoria schickte, um Nachschub zu holen. MANN ließ sich am 9. Januar 1862 nach Victoria hinuntertragen, wo er sich in der Missionsstation auskurierte; SMITH folgte ihm am 15. Januar. CALVO begleitete MANN, da er wieder seinen Dienst auf Fernando Póo antreten musste.

Indes erholte sich SAKER soweit, dass er am 13. Januar zum Mount Victoria aufbrechen, ihn am nächsten Tag besteigen und dort eine Höhenmessung mit dem Siedethermometer durchführen konnte. Aus den ermittelten Werten von Siedepunkt (188°F ≈ 87°C) und Lufttemperatur (58°F ≈ 14°C) wurde eine Höhe von 13.806 Fuß (≈ 4.208 m) ermittelt [BURTON, 1863, S. 178, 180 u. 305]. Die Richtigkeit dieser Messung wurde von BURTON allerdings bezweifelt.

Am 25. Januar kehrte MANN gesund wieder ins Lager zurück und BURTONS Füße waren auch wieder verheilt. So brachen beide am 27. Januar 1862 auf, um gemeinsam den höchsten Gipfel des Kamerungebirges zu erklimmen. Die erste Nacht campierten sie am Mount Isabel (Abb. 7; 3.177 m) und verbrachten dann zwei Tage auf dem Mount Victoria und dem Mount Albert. Das von MANN dort am 3. Januar angebrachte Minimum-Maximum-Thermometer funktionierte nicht mehr. Sie konnten aber die beiden Krater näher untersuchen und die Fortset-

befindet. Das Quecksilber sammelt sich am Boden des U und läuft bei Temperaturänderungen den linken bzw. rechten Schenkel des U hinauf. Auf dem linken und rechten Ende der Quecksilbersäule schwimmen magnetische, farbige Schwimmkörper (Schleppstifte). Außerdem befindet sich im linken Schenkel des U-förmigen Röhrchens meist Ethanol. Dieses flüssige Medium mit einem hohen Ausdehnungskoeffizienten ist die eigentliche Messflüssigkeit. Am linken Schenkel ist eine von oben nach unten aufsteigende, am rechten eine von unten nach oben aufsteigende Temperaturskala angebracht. Im rechten Schenkel des U befindet sich über dem Quecksilber ein Gas, das auf den Quecksilberfaden einen leichten Dauerdruck ausübt. Dieser Gasdruck kann die Quecksilbersäule bei sinkenden Temperaturen in den linken Schenkel zurück drücken [WIKIPEDIA, 2006-2017].

⁷ Ob es sich hierbei um den von ALFRED SAKER 1849 in Kamerun ersten getauften Douala-Christen BEKIMA BILE, der den christlichen Namen SMITH annahm, handelt, konnte nicht geklärt werden.

⁶ Dieses Thermometer besteht aus einem langen, U-förmig gebogenen Glasröhrchen, in dem sich Ethanol und Quecksilber

zung des Gebirges nach Norden in Augenschein nehmen. Der Durchmesser des Kraters am Mount Albert wurde auf ca. 300 m geschätzt und seine Tiefe auf ca. 45 m [BURTON, 1863, S. 199]. Die Höhe des Mount Albert wurde bei einer Siedepunkttemperatur von 180,2°F (≈ 82,3°C) und einer Lufttemperatur von 62°F (≈ 16,7°C) auf 13.129 Fuß (≈ 4.002 m) bestimmt, was 68 m niedriger ist, als die heute gültige Höhenangabe von 4.070 m. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass die seit der Erstbesteigung stattgefundenen zwölf Eruptionen auch die Gipfelkrater seit damals erhöht haben.

Hervorzuheben ist die Entdeckung einer rauchenden Solfatare etwas unterhalb, nordnordöstlich des Gipfels des Mount Albert. Dadurch wurde die noch vorhandene vulkanische Tätigkeit am Kamerunberg nachgewiesen.

Der Aufenthalt auf den beiden Gipfeln war für die Forscher äußerst unangenehm. Orkanartiger Sturm, Gewitter mit heftigen Regenfällen, Temperaturen zwischen 12°C am Tag und -3°C in der Nacht sowie Raureif in der Früh hatten allen hart zugesetzt.

4.4 Das Ende der Expedition zum Kamerunberg

Am 30. Januar trennten sich die Wege von BURTON und MANN. BURTON begann mit seinen Leuten den Abstieg zur Missionsstation Victoria, ließ aber ein paar Leute zur Unterstützung von MANN zurück. Der durch die heftigen Regenfälle aufgeweichte Lehmboden, in den man knöcheltief versank, machte den Abstieg äußerst mühsam. Am 2. Februar 1862 erreichten sie aber alle wohlbehalten die Missionsstation in Victoria an der Küste der Amba Bucht.

MANN blieb dagegen noch zwei Wochen im Gebirge, bestieg den höchsten der am Fuße des Mount Victoria gelegenen Krater, dem er den Namen Mount Hooker gab (Abb. 7; 3.503 m), sammelte noch etliche Pflanzen und fertigte zahlreiche Zeichnungen von diesen an. Da die Gewitter jetzt immer häufiger und heftiger wurden und den Aufenthalt in den Bergen immer unangenehmer machten, entschloss er sich am 13. Februar zum Rückzug. Bei den widrigen Witterungsverhältnissen benötigte er fünf Tage für den Abstieg und erreichte schließlich am 17. Februar 1862 die Missionsstation Victoria.

5. Schlussbemerkungen

GUSTAV MANN beschwerte sich später in einem Brief an JOSEPH DALTON HOOKER, dass BURTON behauptete, er habe als Erster den Kamerunberg bestiegen. Darin schrieb er, dass er und nicht BURTON als Erster auf dem Gipfel des Kamerunberges ge-

standen hätte, er aber darüber keinen öffentlichen Streit provozieren wollte und dass „*wir alle wissen, was passiert, wenn man Pech anfasst*“⁸ [LOVELL, 1998, Kap. 20]. HOOKER nahm die Beschwerde auf und schrieb an die Royal Geographical Society in London: „*Ich bin mir durchaus bewusst, dass BURTON ein versierter Geograph ist und dass der arme MANN nichts anderes als ein fleißiger Pflanzensammler und Reisender ist, aber es ist nicht nötig, dass BURTON eifersüchtig ist und dem armen Kräuterkenner den Erfolg verweigert. Ich hätte mich nicht über BURTON beklagt, wenn BURTON zumindest MANNs Namen zusammen mit seinem eigenen erwähnt hätte.*“ [LOVELL, 1998, Kap. 20].

Nun schreibt BURTON in seinem Expeditionsbericht, dass er am 27. Dezember 1861 um 13:30 Uhr auf dem Gipfel des „*Pico Grande*“ gestanden sei und er habe zum Beweis unter einen Steinhaufen ein Fragment aus „*Mr. Punch*“⁹ gelegt [BURTON, 1863, S. 155/156]. Aufgrund der detaillierten Beschreibung des Kraters des Mount Victoria und des Hinweises, dass er für die Besteigung eines den Gipfel überragenden Kammes keine Zeit mehr gehabt habe, liegt die Vermutung nahe, dass er auf dem kleineren der beiden Gipfelkrater, dem Mount Victoria, und nicht auf dem Mount Albert gestanden war, wie es auch MANN [1864, S. 8] und PETERMANN [1863, S. 181] angeben.

In allen neueren Quellen werden als Erstbesteiger des Kamerunberges BURTON und MANN genannt und das Datum der Erstbesteigung wird auf den 3. Januar 1862 datiert. Nachweislich haben MANN und CALVO am 3. Januar 1862 den Hauptgipfel des Kamerunberges, den Mount Albert, bestiegen [BURTON, 1863, S. 170; MANN, 1864, S. 8; PETERMANN, 1863, S. 182]. Nach Ansicht des Autors gebührt eigentlich allen Vieren, BURTON, MANN, CALVO und SAKER, die Ehre der Erstbesteigung des Kamerunberges. Aber wie schreibt BURTON [1863, S. 153]: „*To be first in such matters is everything; to be second, nothing.*“

Literatur / Quellen

ALLEN, William [1842]: Cameroon River with the Amba Islands, by Capt. W. Allen, HMS Wilberforce, 1842. Admiralty Chart 1456. About 2 sea miles to an inch. With insets of Amba or Ambiose Island and Nicoll Island, 2 inches to 1 sea mile.
The National Archives Kew, FO 925/740

ALLEN, William / THOMSON, Thomas Richard Heywood [1848]: A narrative of the expedition sent by Her Majesty's Govern-

⁸ Eine Anspielung auf die Redewendung: „*Wer Pech anfasst, besudelt sich!*“

⁹ Mr. Punch ist vergleichbar mit dem deutschen Kasperle.

- ment to the River Niger in 1841 under the command of Captain H. D. Trotter. In two Volumes. Bentley, London, XVIII, 509 / VIII, 511 S.
- ARNOLD, Lloyd [1927]:** Gustav Mann, 1864-1921. – In: *Stain Technology, a Journal for Microtechnic and Histochemistry*, Vol. 2, Issue 1, S. 4-7.
ISSN: 0038-9153
- BAYER, Karl [1993]:** Der Fahrtenbericht des Hanno. – In: *WINKLER, Gerhard / KÖNIG, Roderich (Hrsg.): C. Plinius Secundus d. Ä., Naturkunde, Lateinisch - deutsch, Buch 5, Geographie: Afrika und Asien. Sammlung Tusculum. Artemis & Winkler, Zürich/München, S. 337-353.*
ISBN: 3-7608-1618-5
- BROCKHAUS (Hrsg.) [1894]:** Kamerungebirge. – In: *Brockhaus' Konversationslexikon in sechzehn Bänden. Zehnter Band: K-Lebensversicherung. Vierzehnte vollständig neubearbeitete Auflage, F. A. Brockhaus, Leipzig/Berlin/Wien, S. 71-72.*
- BURTON, Isabel [1893]:** The Life of Captain Sir Richard F. Burton, K.C.M.G., F.R.G.S.. 2 Bände. Chapman & Hall, London, 606, 664 S.
- BURTON, Richard Francis [1855/56]:** A Personal Narrative of a Pilgrimage to Al-Madinah and Meccah. 3 Bände. Longman, Brown, Green, Longmans and Roberts, London, XV, 388 / IV, 426 / XI, 448 S.
- BURTON, Richard Francis [1860]:** The Lake Regions of Central Equatorial Africa with Notices of the Lunar Mountains and the Sources of the White Nile; being the Results of an Expedition undertaken under the Patronage of Her Majesty's Government and the Royal Geographical Society of London, in the years 1857-1859. Clowes and Sons, London, 454 S.
- BURTON, Richard Francis [1863]:** Abeokuta and the Camaroons Mountains. An Exploration. 2 Bände. Tinsley Brothers, London, 333, 306 S.
- CHEEK, Martin [o. J.]:** Gustav Mann. – Online-Publikation.
<http://apps.kew.org/herbcat/gotoMann.do> – letzter Aufruf: 19.09.2017
- COURTILLOT, Vincent / DAVAILLE, Anne / NONO, A. / STOCK, Joan [2003]:** Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. – In: *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 205, Issues 3-4, S. 295-308.
ISSN: 0012-821X
- EMBACHER, Friedrich [1882]:** Lexikon der Reisen und Entdeckungen. Bibliographisches Institut, Leipzig, VI, 392 S.
- FERNÁNDEZ, Luis Suárez / PORTO, Carmen Manso (Hrsg.) [2004]:** Isabel la Católica en la Real Academia de la Historia. Catálogo de la Exposición. Real Academia de la Historia, Madrid, 329 S.
ISBN: 84-95983-54-0
- HEMSLEY, William Botting [1916]:** Obituary Gustav Mann. – In: *The Gardeners' Chronicle, a Weekly Illustrated Journal of Horticulture and Allied Subjects*, Vol. LX, Third Series, October 7, 1916, S. 176.
ISSN: 0261-3441
- HEMSLEY, William Botting [1917]:** In Memoriam Gustav Mann. – In: *The Journal of the Kew Guild*, Vol. 3, Number 24, S. 373-374.
ISSN: 2046-1526
- HERTEL, Hannes / SCHREIBER, Annelis [1988]:** Die Botanische Staatssammlung München 1813-1988 (Eine Übersicht über die Sammlungsbestände). – In: *Mitteilungen der Botanischen Staatssammlung Nr. 26*, S. 81-512.
ISSN: 0006-8179
- HESMER, Herbert [1975]:** Leben und Werk von Dietrich Brandis, 1824-1907, Begründer der tropischen Forstwirtschaft, Förderer der forstlichen Entwicklung in den USA, Botaniker und Ökologe. Springer, Wiesbaden, 475 S.
ISBN: 978-3-663-04085-9
- HOOKE, Joseph Dalton [1864]:** On the Plants of the Temperate Regions of the Cameroons Mountains and Islands in the Bight of Benin, collected by Mr. Gustav Mann, Government Botanist. – In: *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London, Botany*, Vol. 7, Issue 28, S. 171-240.
- HUBMANN, Bernhard / FRITZ, Harald [2015]:** Die Geschichte der Erde. Marixverlag, Wiesbaden, 217 S.
ISBN: 978-3-8438-0505-6
- HUNT, James [1863]:** On Ethno-Climatology; or the Acclimatization of Man. – In: *Transactions of the Ethnological Society of London*, Vol. 2, S. 50-83.
ISSN: 1368-0366
- KINGSLEY, Mary H. [1897]:** Travels in West Africa – Congo Français, Corisco and Cameroons. Macmillan, London, 743 S.
- LANGHANS, Paul [1885]:** Das Kamerun-Gebirge (Begleitheorie zur Karte Tafel 18). – In: *Dr. A. Petermann's Mittheilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt*, 31. Jhrg. Heft 11, S. 421-424 und Tafel 18.
- LOVELL, Mary S. [1998]:** A Rage to Live. A Biography of Richard and Isabel Burton. Little/Brown, London, XVII, 910 S.
ISBN: 0-316-64385-8
- MANN, Gustav [1859-1863]:** Letters from Gustav Mann to the Royal Botanic Garden Kew from ... 61 Briefe. Library, Art and Archives, Royal Botanic Gardens, Kew, Directors' Correspondence, Ref.-No. DC 60/189 – DC 60/249
- MANN, Gustav [1864]:** Letter from Mr. G. Mann, Government Botanist, describing his Expedition to the Cameroon Mountains. – In: *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London, Botany*, Vol. 7, Issue 25, S. 1-13.
- NLA WO [2017]:** Kirchennebenbuch von Rickensdorf für die Jahre 1815-1847.
NLA WO 103 N, Nr. 324, Bd. 1
- PETERMANN, August Heinrich [1863]:** Die erste Besteigung des Camerun-Gebirges in West-Afrika, nach den Berichten von Capt. R. Burton und Gustav Mann. – In: *Mittheilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt über wichtige neue Erforschungen auf dem Gesamtgebiete der Geographie von Dr. A. Petermann*, 9. Jhrg., Heft V, S. 179-183.
- PETERMANN, August Heinrich [1865]:** Gustav Mann's botanische Forschungen an der Westküste von Afrika. – In: *Mittheilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt über wichtige neue Erforschungen auf dem Gesamtgebiete der Geographie von Dr. A. Petermann*, 11. Jhrg., Heft I, S. 22-26.
- QUATTROCCHI, Umberto [2000]:** CRC World Dictionary of Plant Names. Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology. Vol. IV: R-Z. CRC Press, Boca Raton/London/New York/Washington, 2899 S.
ISBN: 0-8493-2678-8
- SAKER, Emily Martha [1908]:** Alfred Saker. The Pioneer of the Cameroons. The Religious Tract Society, London, 224 S.
- SCHLÜTTER, Jana [2006]:** Der Tod aus der Tiefe. – In: *Die Zeit*, Nr. 05/2006 vom 26. Januar 2006.

- SCHNEE, Heinrich [1920]:* Deutsches Kolonial-Lexikon. 3 Bände. Quelle & Meyer, Leipzig, XXXI, 776, 698, 778 S.
- SMITHSONIAN INSTITUTION (Hrsg.) [2013]:* Global Volcanism Program. – Online-Publikation.
<http://volcano.si.edu/> – letzter Aufruf: 18.09.2017
- SPEKE, John Hanning [1863]:* Journal of the Discovery of the Source of the Nile. Blackwood & Sons, Edinburgh/London, XXXI, 658 S.
- SZEGLAT, Marc [2012]:* Vulkane in Afrika – Der Norden und Westen des Kontinents. – Online-Publikation.
<http://www.vulkane.net/vulkane/riftvalley/afrika.html> – letzter Aufruf: 08.09.2017
- UNDERHILL, Edward Bean [1884]:* Alfred Saker, Missionary in Africa: A Biography. Published by the Baptist Missionary Society, Alexander & Shephard, London, 173 S.
- VAN DER ZWAN, Froukje / GARBE-SCHÖNBERG, Carl-Dieter / HANSTEEN, Thor Hendrik / SUH, Emmanuel [2014]:* Die Rolle der volatilen Elemente im Magmatismus der Kamerun-Linie. – Online-Publikation.
<http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/254022072> – letzter Aufruf: 07.09.2017
- VOLCANO DISCOVERY [2017]:* Volcanoes in Western Africa. – Online-Publikation.
<https://www.volcanodiscovery.com/western-africa.html> – letzter Aufruf: 08.09.2017
- WARD, Peter [2017]:* Cameroon’s Internet Ban Threatens Silicon Mountain. – Online-Publikation.
<https://theculturetrip.com/africa/cameroon/articles/cameroons-internet-ban-threatens-silicon-mountain/> – letzter Aufruf: 07.09.2017
- WIKIPEDIA (Hrsg.) [2006-2017]:* Minimum-Maximum-Thermometer. – Online-Publikation.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Minimum-Maximum-Thermometer> – letzter Aufruf: 22.09.2017
- WIKIPEDIA (Hrsg.) [2011-2016]:* Bimbia. – Online-Publikation.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Bimbia> – letzter Aufruf: 10.08.2017
- WRIGHT, Thomas [1906]:* The Life of Sir Richard Burton. 2 Bände. Everett, London, 2nd Edition, jeweils 291 S.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing.(FH) UWE G. F. KLEIM
Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Informatik
Institut für Angewandte Informatik
D-85577 Neubiberg
Tel.: +49 / (0)89 / 6004 - 3548
E-Mail: uwe.kleim@unibw.de

Geoinformationssysteme im politischen Kontext

Versuch eines kritischen Diskurses

1. Vorbemerkung

Beim Besuch eines kommunalen Geschäftsführers einer mittelgroßen bayerischen Stadt wurden verschiedene Möglichkeiten von Geoinformationssystemen aufgezeigt, die sich in ihrem Anwendungsspektrum außerhalb der üblichen Dokumentationsaufgaben einordnen lassen. Seine Erkenntnis, diese Anwendungen führen ja zu erhöhter Transparenz, waren schlüssig und nachvollziehbar. Sein Gegenüber verstieg sich sogar dazu, darauf hinzuweisen, sachgerechter Einsatz von Geoinformationssystemen leiste über die mögliche Transparenz einen wichtigen Beitrag zu Good Governance¹. Die Antwort des Geschäftsführers ernüchterte: „*Transparenz kann mein Oberbürgermeister nicht brauchen*“ und das Gespräch war kurz darauf beendet.

Diese Anekdote versinnbildlicht auf deutliche Art und Weise, um aufzuzeigen welche Schwierigkeiten bestehen, die Technologie raumbezogener Informationssysteme für gesellschaftlich relevante politische Aufgaben einsetzbar zu machen. Mit dem Wandel von z. B. endlosen Tabellen oder Bauchgefühl hin zu einem nachvollziehbaren Werkzeug vollzieht sich im Rahmen der Digitalisierung der Politik auch ein Methodenwechsel hin zu stringentem Handeln. Die Methoden eines Präsidenten TRUMP sind nur ein Beispiel für von Wissen abgewandtem Handeln und können auch als Widerstand gegen zunehmend auf Fakten basierende Entscheidungen [BUTTLER, 2017] gesehen werden, zumal diese häufig als unausweichlich dargestellt werden.

Dieser Widerstand trifft die wissenschaftliche Welt (insbesondere Bereiche von hohem wirtschaftlichen Wirkungen, wie Klima, Biologie, Energie etc.) insgesamt und die Anwendung von Geoinformationssystemen im Besonderen. Viele wissen-

schaftliche Erkenntnisse werden durch die Verwendung des Werkzeuges Geoinformationssystem ermöglicht. Denn Geoinformationssysteme sind wissenschaftliches Werkzeug, z. B. zur Dokumentation, Analyse und Darstellung. Dabei werden räumlich bezogene Daten durch spezielles Wissen der jeweiligen Anwendungsdisziplin begründeter Modelle zu Informationen. So entstehen Beiträge zu Zusammenhängen und zu Wissen in einem Fach. Darüber hinaus kann über die Visualisierung ein kommunikativer Dienst erbracht werden.

Geoinformationssysteme sind demzufolge in der Lage, komplexe und komplizierte Zusammenhänge unter Nutzung entsprechender Prozesse und Vorgehensweisen, vereinfachend entsprechend Anwendern und Interessenten nahezubringen. Mit den graphisch oft beeindruckenden Ergebnissen wird in den Aspekten der Geoinformation unbedarften Anwendern jedoch oft ein Maß an Qualität und Genauigkeit suggeriert, die einer detaillierten Betrachtung kaum standhalten kann.

2. Qualitätsfragen

Zu dezidierten Ingenieuraufgaben ist der Zusammenhang zur Qualität im GIS vielfältig beschrieben. Viele Qualitätsaspekte der geometrisch-topologischen Sichtweise auf Geoinformationssysteme beschreiben JOOS [2000] und CASPARY/JOOS [2002]. SCHUKRAFT/LENZ [2005] bereiten diese Methoden für praktische Planer auf. REINHARDT [2004] stellt den Zusammenhang zur Ingenieurgeodäsie her. Aspekte der Qualitätskriterien für Karten beschreiben BOLLMANN/KOCH [2005] und HAKE et al. [2013].

In der Bearbeitung politisch relevanter Geoinformationen, die sehr häufig mit amtlichen, gelegentlich auch nichtamtlichen, jedoch fast ausschließlich statistischen Daten verknüpft werden, ist jedoch ein anderes Qualitätsszenario zu finden. Die geometrisch-topologischen Aspekte sind in der Regel von untergeordneter Bedeutung. Sie erstrecken sich in der Regel auf administrative Flächen, die über den amtlichen Schlüssel der Gemeindekennziffer und dessen Untergliederungen an die Sachdaten angebunden werden. Aktualität und Konsistenz beziehen

¹ „Der Begriff *„Governance“* umfasst die Art und Weise, wie in einem Staat Entscheidungen getroffen, politische Inhalte formuliert und umgesetzt werden. *Good Governance* ist transparent, effektiv und legt Rechenschaft ab. Sie beteiligt die gesamte Bevölkerung und berücksichtigt die Meinung und die Bedürfnisse von Minderheiten und Schwachen. Alle Bürgerinnen und Bürger werden mit den notwendigen öffentlichen Gütern und sozialen Dienstleistungen versorgt.“ [BMZ, 2018].

sich vorwiegend auf Fragen des Kartenstandes im Bezug zum Erfassungszeitraum, um insbesondere eine lückenlose Abdeckung mit vorhandenen Werten zu erreichen. Die Daten sind bei Herkunft aus amtlichen Quellen schon durch deren Qualitätsprozesse geprüft. Die Verwendung dieser Daten unterliegt jedoch noch weiteren Fragestellungen. Diese finden sich im nicht-mathematischen Bereich der Modellbildung. Folgend wird anhand zweier Beispiele der Umgang mit derartigen Sachverhalten gezeigt.

3. Beispiel A: Mythen und Fakten

Nahezu jeder Politiker nach Gründen der Komponente Wegzug des demographischen Wandels bzw. nach Maßnahmen, dem zu begegnen, gefragt, wird die Schaffung von Arbeitsplätzen benennen. Der Mythos einer Parallelität der Entwicklung der Zahl der Arbeitsplätze und der Bevölkerungszahl hält sich hartnäckig und eine gewisse Korrelation zwischen beiden Themen ist nicht von der Hand zu weisen. Allerdings ist nicht klar, welcher der Aspekte Ursache und welcher Wirkung ist. Ob der Bevölkerungsrückgang ursächlich für die Entwicklung auf dem Arbeitsmarkt ist oder ob weniger Arbeitsplätze zu geringeren Einwohnerzahlen führen. Weiterhin wird gerne und ohne Nachweis behauptet, dass insbesondere junge Leute in die Großstädte verziehen. Beide Behauptungen werden gerne unbesehen als unausweichliche Tatsache angenommen und dienen gerne als Basis für Aktionismus.

Der erste Bürgermeister der Festspielstadt Wunsiedel, einer Kreisstadt in Nordbayern, welche seit Jahren, fast schon Jahrzehnten von einem für bayerische Verhältnisse äußerst starken Bevölkerungsrückgang betroffen ist, suchte verzweifelt Hilfe. Trotz einer sehr positiven Entwicklung der Zahl an Arbeitsplätzen vor Ort, stellte sich kein Bevölkerungswachstum ein, ja die Einwohnerzahl verringerte sich mit unverminderter Geschwindigkeit weiter, obwohl er und die Stadt doch nachweislich alles richtig gemacht haben.

Die Gründe für diese Entwicklung zu finden und auf Basis der gefundenen Erkenntnisse ein Maßnahmenpaket unter Zusammenarbeit mit der Verwaltung und gesellschaftlichen Gruppen zu entwickeln, war die zu lösende Forschungsaufgabe. Das dreijährige Gesamtprojekt wurde von der Bayerischen Obersten Baubehörde, im Freistaat Bayern Teil des Staatsministeriums des Inneren, als Modellprojekt begleitet und dokumentiert [OBBS_{MI}, 2014].

In einem ersten Schritt wurden Sekundärmetriken detailliert ausgewertet. Hierzu werden in die-

sem Artikel exemplarisch die Wegzüge untersucht. Betrachtet man die Wegzugszielorte aus der Stadt Wunsiedel der letzten zehn Jahre, ist deutlich erkennbar, dass in erster Linie Orte im Nahbereich der Stadt Destinationen darstellen.

Alle weiteren Wegzugsziele liegen hauptsächlich in Bayern. Bei der Analyse des Nahbereiches befindet sich die größte Anzahl der Wegzugsadressen (1.538) im Umkreis von fünf bis zehn Kilometern um Wunsiedel. Insgesamt können in einem Radius von 20 Kilometer 2.571 Wegzüge lokalisiert werden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Wegzugsgebiete in einem 5 km-Raster im Raum Oberfranken. Dabei sind der Nahbereich und die Oberzentren bzw. Hochschulstandorte Bayreuth und Hof als Wegzugsbereiche erfasst. Deutlich erkennbar sind die Hauptwegzugsraster (dunkelrot). Auf diese Weise wurden noch weitere Analysen durchgeführt und mit der Aufgabenstellung in Verbindung gebracht.

Nicht bestätigt werden konnte ein starker Wegzug in die Großstädte. Sicherlich gibt es dorthin Wanderungsbewegungen, das Gros der Wanderungsverluste konnte jedoch nicht gefunden werden. Im Umkehrschluss bedeutet diese Erkenntnis für den Maßnahmenplan als Zwischenergebnis, dass eine besondere Aktivierung von Haltefaktoren für diese Bevölkerungsgruppe ins Leere lief.

Um zu tiefer greifenden Erkenntnissen zu gelangen, wurde eine Wanderungsmotivuntersuchung durchgeführt. Folgend sind die wichtigsten Erkenntnisse dargestellt. Als Methodik wurde eine leitfadengestützte Telefonbefragung durchgeführt. Dazu wurden im Vorfeld die Interviewer geschult, um subjektive Einflüsse durch Befragter möglichst auszuschließen. Anhand der Zu- bzw. Wegzugsadressen des Melderegisters wurden Telefonnummern zugeordnet.

Insbesondere bei weggezogenen Personen wurde bei der Durchführung festgestellt, dass viele bereits weitergezogen waren und deshalb auch keine Telefonnummernzuordnung mehr möglich war. Trotzdem konnten innerhalb dieser Befragung insgesamt rund 1.000 Personen zwischen 18 und 80 Jahren befragt werden. Die Verteilung der Befragten nach Wegzugsjahren zeigt, dass über die zurückliegende Dekade annähernd gleichviele Personen befragt werden konnten.

Altersgruppenspezifisch gesehen, weist die Stichprobe zudem eine fast identische Verteilung wie die Grundgesamtheit auf, so dass die getroffenen Aussagen als valide angesehen werden können. Als eines der Wanderungsmotive wurde der Zuzug- bzw. Wegzug von Miete in Eigentum und umgekehrt untersucht. Es wird hierbei deutlich, dass ähnliche Anteile an Zu- als auch Weggezogenen von Miete

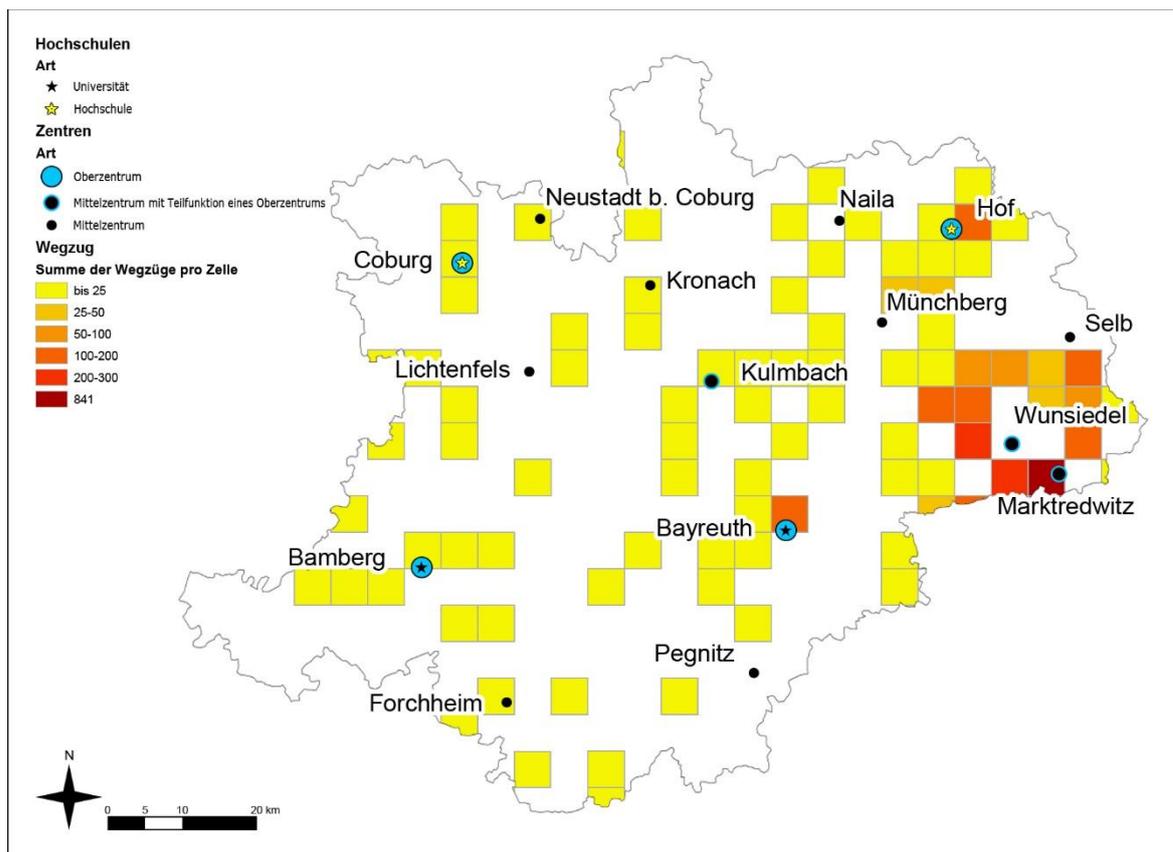


Abb. 1: Wegzugsziele aus der Stadt Wunsiedel innerhalb von Oberfranken in den letzten 10 Jahren [OBBS+MI, 2014, S. 6].

in Eigentum gezogen sind. Lediglich beim Wechsel von Eigentum zu Miete ist ein Unterschied von ca. drei Prozent zu Ungunsten der Stadt Wunsiedel zu beobachten. Bei der Frage nach Gründen, welche einen Wegzug aus Wunsiedel verhindert hätten, stand zwar an erster Stelle die Arbeitsstelle, jedoch mit sehr geringem Abstand folgen Immobilien/Grundstück, sowie familiäre Gründe.

Weiterhin wurde nach dem persönlichen Eindruck im Zusammenhang mit der Stadt Wunsiedel gefragt. Hier wurde das Kleinstadtlair, die Landschaft und das kulturelle Angebot als besonders positiv bewertet.

Die persönliche Zuordnung ermöglichte weitere räumlich bezogene Auswertungen. So wurden die telefonisch Befragten nach Wegzugsentfernung gefiltert. Bei diesem Personenkreis zeigte sich eine andere Rangfolge der Gründe, welche einen Wegzug aus Wunsiedel verhindert hätten. Hier befinden sich, im Gegensatz zur Gesamtauswertung, vor allem die Familie und Partner als Hauptgrund, gefolgt von Immobilien/Grundstücken und dem Beruf.

Im Vergleich zur Gesamtauswertung ist für diesen Personenkreis der Anteil der Personen, welche von Eigentum in Miete gewechselt sind, um ca.

zwölf Prozent geringer, während der Anteil derer, die von Miete in Eigentum gewechselt sind, um über 32 Prozent höher ist.

Die Erkenntnis aus diesen Erhebungen lautete, dass der Arbeitsmarkt nicht die Bedeutung für das Zuzugs-Wegzugsverhalten hat, wie allgemein vermutet. Fragen und Probleme des Immobilienmarktes, bislang nicht auf der Agenda der Kommune, rückten nun in den Fokus. Die Befragten berichteten, dass im Zusammenhang mit Immobilienfragen häufiger der Wunsch nach hochwertigen, ihren Preis wertem Wohnraum geäußert wurde. Billiger Wohnraum hingegen wurde von Wegziehenden nicht gewünscht.

In einem ersten Schritt wurden Arbeitskreise, insbesondere zu Immobilienfragen eingerichtet, in denen Herangehensweisen diskutiert wurden.

- ✘ Es wird durch zahlreiche Beiträge festgestellt, dass die Immobiliensituation vor Ort nicht ausreichend transparent ist. Informationen werden in den entsprechenden Medien vor Ort nicht platziert oder nicht genutzt.
- ✘ Durchführung einer exakten Bestandsaufnahme: Es muss dringend eine exakte Bestandsaufnahme erfolgen, um die Leerstandssitua-

tion und Wohnqualitätssituation möglichst genau zu erfassen (Leerstandssituation und Substanzbeschreibung, eventuell über Zensusdaten).

- ✦ Durchführung spezifischer Bedarfsanalysen: Zudem müssen Bedarfsanalysen nach Wohnraumgröße/-qualität durchgeführt werden. Derzeit werden qualitativ gute Miet- und Eigentumswohnungen gesucht. Eine Verbesserung des Angebotes ist nötig.
- ✦ Sind ausreichend altersgerechte/seniorenfreundliche Wohnungen vorhanden? Dies sollte überprüft werden.
- ✦ Stadt als Vorreiter in Sachen Verbesserung der Immobiliensituation: Eine kommunale Wohnungsbaugesellschaft (evtl. Entwicklungsagentur) wird gewünscht. Zudem sollten dabei Wohnungsbaugesellschaften mit einbezogen werden. Es muss mit Banken gesprochen werden und Fonds müssen angelegt werden.
- ✦ Schaffung einer zentralen Anlaufstelle: Weiterhin muss es Ziel sein, eine zentrale Anlaufstelle zu schaffen. Diese kann beraten, gezielt anbieten und soll bei Fragestellungen hinsichtlich Förderung und Finanzierung behilflich sein. Hier können auch ein Infoportal und ein Verzeichnis des Mietwohnungsleerstandes dienlich sei.

In den darauf stattfindenden Stadtratssitzungen wurde die ganze Breite an politischer Verwässerung sichtbar. Dies reichte von der persönlichen Diffamierung bis hin zur Erkenntnis, dass, die Untersuchung sei, wie sie sei, die Wahrheit jedoch eine andere wäre. Offensichtlich wurde, dass die politische Bewertung mit der Sache an sich wenig zu tun hatte und es letztlich nicht darum ging, ein gemeinsames Ziel zu erreichen, sondern die persönliche Position in der eigenen Wählergruppe zu positionieren.

Im Ergebnis gelang es, die Maßnahmen mehrheitsfähig zu gestalten und die teils sehr innovativen Vorschläge allesamt, auch unter Verwendung von Geoinformationssystemen, zu realisieren. Heute gibt es vor Ort zahlreiche, auch private Bauaktivitäten in einer vorher wenig aktiven Region [FRANKENPOST, 2017a, b].

Wunsiedel ist laut Immobilienmarktbericht Bayern 2016 [OGAGFB, 2016] die aktivste Kommune Nordbayerns im Bereich der Grundstücksgeschäfte, die häufig Voraussetzung für immobiläre Veränderung sind und in den letzten vier Jahren durchschnittliche Wanderungsgewinn [BLFSTAT, 2018] in der Bevölkerungszahl erreicht, der den Rückgang durch natürliche Einflüsse mildert.

Kern des Vorgehens war die sachgerechte, tiefgreifende Analyse der Situation vor Ort. Mit dieser konnten diverse Mythen durch konkrete Sachverhalte

entzaubert werden. Dies schuf die Voraussetzung für zielgerichtetes und effizientes Handeln.

4. Beispiel B: Arbeitslosigkeit vs Erwerbslosigkeit

Die Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen ist mit dem Volksentscheid im Oktober 2013 in Bayern in die Bayerische Verfassung als Staatsziel aufgenommen worden. Eine vom Bayerischen Landtag eingesetzte Enquetekommission hatte die Aufgabe, Handlungsempfehlungen zur Umsetzung dieses Staatszieles zu erarbeiten. Im Zuge der Arbeiten gab der Bayerische Landtag eine Studie in Auftrag, mit der ein Konzept zur Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen in ganz Bayern vorgeschlagen wurde [KOPPERS et al., 2018]. Kern des Konzeptes ist die Entwicklung eines Begriffes „räumliche Gerechtigkeit“.

Darin wurde unter anderem an einem geeigneten Indikatorenkonzept gearbeitet. Hierin war es die Aufgabe, Datensätze zu finden, an denen sich die gesuchte Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen validieren lässt. Dazu gehören, auch ohne weitere Nachweise dafür zu benennen, Arbeitsmarktdaten. Während für andere fachliche Bereiche häufig zu wenige, ungeeignete oder auch gar keine Daten vorliegen, so gibt es zur Beschreibung des Arbeitsmarktes den Luxus von zwei unabhängigen, jedoch auch gänzlich unterschiedlichen Datensätzen.

Die Erwerbsstatistik der statistischen Landesämter unterscheidet zwischen Erwerbstätigen und Erwerbslosen und bildet die Personen ab, die aktiv Arbeit suchen und so dem Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Dabei werden auch geringfügige Arbeitsplätze erfasst sowie Personen, die sich nicht arbeitslos melden. Die international ILO-Erwerbsstatistik benannte Methode ist für internationale Vergleiche unentbehrlich, da Daten nach einem international einheitlichen Konzept erhoben werden. Die ILO-Methodik bildet eine eher ökonomische Sichtweise ab.

Die Sozialgesetzbuch-(SGB-)Arbeitsmarktstatistik der Agentur für Arbeit zeigt hingegen die sozialpolitische Sicht auf. Es werden geringfügig Beschäftigte als arbeitslos erfasst. Auch Arbeitwillige, die jedoch nicht aktiv nach Arbeit suchen sind hier enthalten.

Beiden Messmethoden gemein ist, dass Menschen nicht als arbeitslos gezählt werden, obwohl sie ein entsprechendes Angebot annehmen würden. Dazu gehören z. B. Beschäftigte in Arbeitsgelegenheiten nach dem SGB und solche in Qualifizierungs-

maßnahmen, die zwar Arbeitslosenkriterien nicht erfüllen, aber ihren angestrebten Berufswunsch ausüben. Dies entsteht durch systematische Erweiterung des Arbeitslosenbegriffes um die Unterbeschäftigung, bei der diese Situationen dargestellt werden können.

Der Begriff Unterbeschäftigung wird jedoch von der Statistik des SGB anders definiert als im ILO-Konzept. In letzterem ist das partielle Fehlen von Arbeit, also Unterbeschäftigung, eine Untergruppe der Erwerbstätigen. Unterbeschäftigte im ILO-Konzept sind Erwerbstätige, die zeitlich mehr arbeiten wollen. Darunter zählt beispielsweise ein geringfügig Beschäftigter, der eine Vollzeitstelle anstrebt.

Welchem Konzept soll nun als Wissenschaftler gefolgt werden, wo doch beide sachlich zutreffend und logisch begründet sind? Auch auf der politischen Ebene herrscht Uneinigkeit, da die eine Variante in der Regel eine höhere Zahl als die andere Methode hervorbringt und so Opposition und Regierung jeweils unterschiedliche Modelle präferieren. Am Ende „gewinnt“ der ILO-Ansatz wegen seiner Vergleichbarkeit. Experten wie Politiker stimmen über die Verwendung dieses Modelles ab.

5. Fazit

In der Verwendung von Daten durch den Ingenieur nahe Anwendungsgebiete sind Fragen zur Qualität der eingehenden und ausgehenden Größen in Geoinformationssystemen weitgehend geklärt. Werden jedoch politische Fragen behandelt, verschiebt sich die Ausgangslage. Politik hat wenig mit Wahrheit oder Richtigkeit zu tun, Politik entwickelt seine Macht, wenn Emotionen oder Meinungen entstehen bzw. gebildet werden.

Am GIS-Anwender wird dann über viele Stellen in diverse Richtungen gezogen. Das verwendete Modell hat jedoch erhebliche Auswirkungen auf die Ergebnisse. Leider wird der Zusammenhang häufig nicht dargestellt oder eine abweichende Ansicht konnotiert. GIS im politischen Umfeld bedarf deshalb der besonderen Sorgfalt und Wachsamkeit, auch in der Nutzung.

Literatur / Quellen

- BLFSTAT (= BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK) (Hrsg.) [2018]:* Stadt Wunsiedel, 09 479 169. Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten. Statistik kommunal 2017. – Online-Publikation.
<https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09479169.pdf> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- BMZ (= BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG) (Hrsg.) [2018]:* Good Governance – Rahmenbedingung für Entwicklung. – Online-Publikation.
<https://www.bmz.de/de/themen/goodgovernance/> – letzter Aufruf: 29.03.2018.
- BOLLMANN, Jürgen / KOCH, Wolf-Günther (Hrsg.) [2005]:* Lexikon der Kartographie und Geomatik. 2 Bände. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin, XV, 453, VIII, 455 S.
 ISBN: 3-8274-1672-8
- BUTTLER, Martina [2017]:* Der Kampf der Wissenschaft mit dem Präsidenten. – Online-Publikation.
http://www.deutschlandfunk.de/ein-jahr-trump-der-kampf-der-wissenschaftler-mit-dem.1773.de.html?dram:article_id=400028 – letzter Aufruf: 28.03.2018
- CASPARY, Wilhelm / JOOS, Gerhard [2002]:* Spatial Data Quality Control. – In: SHI, Wenzhong / FISHER, Peter F. / GOODCHILD, Michael F. (Hrsg.): Spatial Data Quality. Taylor & Francis, London/New York, S. 106-115.
 ISBN: 0-415-25835-9
- FRANKENPOST (Hrsg.) [2017a]:* Bauboom in Wunsiedel. – In: Frankenpost vom 14.01.2017.
<https://www.frankenpost.de/region/fichtelgebirge/fichtelgebirge/art654373.5315152> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- FRANKENPOST (Hrsg.) [2017b]:* Bauboom in Wunsiedel. – In: Frankenpost vom 08.12.2017.
<https://www.frankenpost.de/region/wunsiedel/Bauboom-in-Wunsiedel;art2460,5872314> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- HAKE, Günter / GRÜNREICH, Dietmar / MENG, Liqiu [2013]:* Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen. 8. Auflage. DeGruyter, Berlin/New York, XIII, 606 S.
 ISBN: 978-3-11-087057-2
- JOOS, Gerhard [2000]:* Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Schriftenreihe des Studienganges Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München, Heft 66. Neubiberg, IV, 141 S.
 ISSN: 0173-1009
- KOPPERS, Lothar / MIOGSA, Manfred / STRÄTER, Detlev / HÖCHT, Volker [2018]:* Räumliche Gerechtigkeit – Konzept zur Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen in ganz Bayern. Eine Studie im Auftrag des Bayerischen Landtags im Rahmen der Enquete-Kommission zur Herstellung gleichwertiger Lebensverhältnisse und Arbeitsbedingungen. Institut für angewandte Geoinformatik und Raumanalysen e.V., Waldsassen, 372 S.
https://www.bayern.landtag.de/fileadmin/Internet_Dokumente/Sonstiges_P/EK-Lebensverhaeltnisse-Auftragsstudie_raeuml._Gerechtigkeit.pdf – letzter Aufruf: 29.03.2018
- OBBSTMI (= OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND VERKEHR) (Hrsg.) [2014]:* Wandermotivuntersuchung Wunsiedel. Kurzdokumentation Neuaufgabe 2014. – Online-Publikation, 15 S.
http://www.stmi.bayern.de/assets/stmi/buw/staedtebau/brosch%20C3%BCre_wunsiedel.pdf – letzter Aufruf: 28.03.2018
- OGAGFB (= OBERER GUTACHTERAUSSCHUSS FÜR GRUNDSTÜCKSWERTE IM FREISTAAT BAYERN) (Hrsg.) [2016]:* Immobilienmarktbericht 2016 – Online-Publikation.
http://www.gutachterausschuesse-bayern.de/fileadmin/PublicData/News/IMB_BY_2016_Pressemitteilung_Inhaltsverzeichnis.pdf – letzter Aufruf: 29.03.2018

REINHARDT, Wolfgang u.a. (Hrsg.) [2004]: Raumbezogene Informationssysteme. Handbuch der Ingenieurgeodäsie, Band 2. Wichmann, Berlin/Heidelberg, XI, 226 S.
ISBN: 3-87907-294-9

SCHUKRAFT, Andrea / LENZ, Roman [2005]: Geoinformationssysteme – Leitfaden zur Datenqualität für Planungsbüros und Behörden. Runder Tisch Geoinformationssysteme e.V., Technische Universität München, München, 48 S.
ISBN: 3-935049-87-0

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. LOTHAR KOPPERS
Hochschule Anhalt
Institut für Geoinformation und Vermessung
Professur für GIS und Digitale Bildverarbeitung
Bauhausstr. 8
D-06846 Dessau-Roßlau
Tel.: +49 / (0)340 / 5197 - 1620
E-Mail: lothar.koppers@hs-anhalt.de

Lokal oder Global? Geoinformationen in der IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen

Ein Positionspapier

Zusammenfassung

Das Verständnis des Nutzens von geographischen Informationen in Anwendungsgebieten der Sicherheit ist ein wichtiges Thema [REINHARDT, 2014]. Dieser Beitrag analysiert die potentielle Rolle von geographischen Informationen und damit die „lokalisierbaren“ Aspekte der IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen und will so einen Beitrag zur Sicherheit Kritischer Infrastrukturen und zur Digitalisierung leisten.

Summary

The understanding of the usefulness of geographic information in application domain related to safety and security is important [REINHARDT, 2014]. This article analyses the potential role of geographic information and the „localizable“ aspects of IT Security in Critical Infrastructures and it aims for a contribution to the safety of the civilian society and digitalization.

1. Motivation

Die Kritischen Infrastrukturen in Deutschland sind sicher und das soll auch so bleiben. So sind die Betreiber Kritischer Infrastrukturen gefordert, die IT-Sicherheit ihrer Anlagen ständig zu erhöhen – so dass Produkte und Dienstleistungen für die moderne Zivilgesellschaft zur Verfügung stehen. Kritische Infrastrukturen (KRITIS) stellen Organisationen oder Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für die Zivilgesellschaft dar. Ihr Ausfall würde nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen mit sich bringen – daher sind Kritische Infrastrukturen besonders schützenswert. Sowohl große Betreiber Kritischer Infrastrukturen als auch speziell kleine und mittlere Betreiber Kritischer Infrastrukturen stellt die notwendige Erhöhung der IT-Sicherheit vor Herausforderungen: „Sicherheit“ wird von Kunden kaum honoriert und so sind personelle und finanzielle Ressourcen limitiert.

IT-Sicherheit für Kritische Infrastrukturen ist nicht allein ein wichtiges, sondern auch ein vergleichsweise neues und aktuelles Thema: nicht mehr nur relativ uniforme IT-Landschaften in Büros und Verwaltung müssen sicher sein, sondern komplexe Produktionsanlagen oder ganze Geschäftsprozesse zur Erbringung von Dienstleistungen müssen abgesichert werden. In der Diskussion um Kritische In-

frastrukturen in Deutschland werden die Sektoren Energie, Informationstechnik und Telekommunikation, Gesundheit, Wasser, Ernährung, Transport und Verkehr, Finanz- und Versicherungswesen, Staat und Verwaltung sowie Medien und Kultur betrachtet.

Die Idee für den vorliegenden Beitrag zu dieser Festschrift ist inspiriert von der Forschung und der Zusammenarbeit mit Prof. WOLFGANG REINHARDT zu Geoinformation (GI) und deren Wert in betrieblichen Informationssystemen oder Unternehmensinformationssystemen [LECHNER/REINHARDT, 2017]. Diese Diskussionen will dieser Beitrag zur Festschrift aufnehmen und das Thema „Lokal oder Global“ aus vier Perspektiven heraus beleuchten. Jede der Vignetten (Abb. 1) hat eine eigene Interpretation des Themas Lokal und Global. Lokalisierbare, also lokale Aspekte der Cybersicherheit können von der Anwendung geeigneter Geoinformationen profitieren. Eine Diskussion des Wertes von geographischen Informationen beschließt diesen Beitrag – denn „*there is still a need to establish knowledge about GI more widely*“ [REINHARDT, 2014].

Dieser Beitrag zeigt das Spannungsfeld der IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen in den Dimensionen des magischen Dreiecks TOM (Technik, Organisation, Mensch) auf (Abb. 2) – zwischen „lokaler Individualität“ und globaler Dimension mit Normen und Standards. Motiviert zu diesem Beitrag haben unsere Erfahrungen in der Gestaltung und

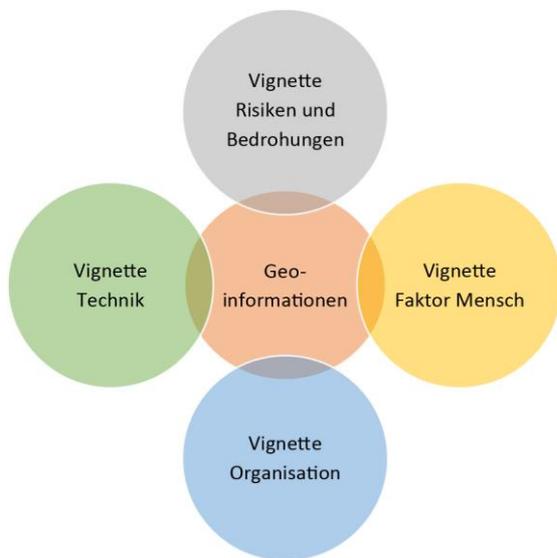


Abb. 1: Struktur des Beitrages für die Festschrift zum Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG REINHARDT.

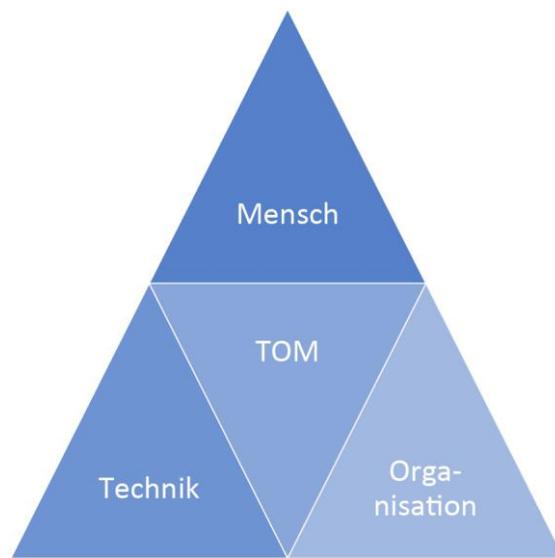


Abb. 2: Das magische Dreieck TOM, Technik – Organisation – Mensch

Analyse von Unternehmensinformationssystemen [LECHNER/REINHARDT, 2017] und Fragen zur Relevanz von Geoinformationen in der Cybersicherheit und Normen und Standards im Krisenmanagement [REINHARDT, 2014].

2. Methode

Diese in wesentlichen Teilen argumentativ-deduktive Analyse bezieht ihre Empirie aus der Studie „Monitor IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen“ [LECHNER, 2017] und der Fallstudienreihe CASE|KRITIS zur IT-Sicherheit für Kritische Infrastrukturen [LECHNER et al., 2018].

Die Studie „Monitor IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen“ [LECHNER, 2017] wurde als empirische, quantitative Querschnittsanalyse entwickelt. Die Feststellung des Wissensbedarfs bildete ein zentrales Element für die Fragenformulierung. Multiplikatoren halfen bei der Rekrutierung von Teilnehmern für die Umfrage und der Fragebogen war über einen Zeitraum von fünf Monaten (Juni bis Oktober 2016) online zugänglich. Die Auswertung der Ergebnisse wurde als deskriptive, beschreibende Statistik vorgenommen.

Die Fallstudienreihe [LECHNER et al., 2018] zeigt erfolgreiche IT-Sicherheitsprojekte, pragmatische Umsetzungen von IT-Sicherheitskonzepten, erprobte IT-Sicherheitstechnologien und gelebte Sicherheitskulturen in Organisationen. Thematisiert wird IT-Sicherheit immer im Kontext eines Sektors und eines konkreten Anwendungspartners oder Technologie-

anbieters mit Geschäftssicht, Prozessen und Infrastruktur sowie den Dreiklang von Mensch-Organisation-Technik (TOM). IT-Sicherheit kann erfolgreich, effektiv und effizient umgesetzt werden und die Lösungen in der Praxis funktionieren: die Spanne an Studien reicht, um Technologien und existierende Infrastrukturen auf einen neuen Stand zu bringen oder die Effektivität und Effizienz von IT-Sicherheitsmanagement zu verbessern, bis hin zur Absicherung kritischer Projekte. Die Fallstudien wurden 2015 bis 2017 durchgeführt.

3. Vignette Risiken und Bedrohungen

Cyberisiken werden als globale Bedrohungen wahrgenommen – Ausgangspunkt, Ziel und Threat Actor können auf unterschiedlichen Kontinenten sein und Lokationen, Grenzen und Barrieren scheinen im Cyberspace und bei Cyberbedrohungen keine Rolle mehr zu spielen.

Die Gefahr aus dem Cyberraum war immer schon ein globales Phänomen. Man erinnere sich an die ersten Viren in den 80er Jahren, die sich wie auch Trojaner für DOS-Betriebssysteme, Ataris oder Apple II global verbreiten konnten. Ein historisches Beispiel war der „Freitag-der-13.-Virus“ (aka Michelangelo) – der an einem Freitag, den 13., alle COM- und EXE-Dateien auf befallenen Rechnern löscht. Solche Viren verbreiteten sich in den 80er Jahren in der verwundbaren und uniformen Welt der DOS-Betriebssysteme weltweit [DISCHERL, o.J.]. Diese Wahrnehmung von IT-Sicherheitsrisi-

ken als einer globalen Bedrohung wird stark von diesen ersten Viren geprägt.

Eine Schadsoftware jüngerer Datums mit globalen Implikationen stellt „Heartbleed“ [SYNOPSIS, 2017] dar. „Heartbleed“ ist eine Verwundbarkeit der weltweit genutzten OpenSSL-Softwarebibliothek zur Verschlüsselung. Diese Verwundbarkeit macht es möglich, dass normalerweise durch die SSL/TLS Verschlüsselung geschützte Information gestohlen werden kann und dass Daten aus dem Arbeitsspeicher gelesen werden können. SSL/TLS sorgt für Sicherheit und Privatheit bei Anwendungen wie Web, Email oder Instant Messaging.

Heute schlagen sich geopolitische Entwicklungen in den Risiken für ganze Länder und damit ihre Kritischen Infrastrukturen nieder. So zählen beispielsweise Deutschland und Frankreich laut den Cybermaps von KASPERSKY LAB. [2018] im November 2017 (Abb. 3) zu den Ländern, gegen die sich international die meisten Cyberangriffe richten (Deutschland war am 28. Nov. 2017 #3, Frankreich #7). Geopolitische Interessen spielen auch in der vergleichsweise neuen Form der Cyberbedrohung eine Rolle: in der Debatte zu Fake News von 2016/2017 und den Diskussionen über die Manipulierbarkeit demokratisch legitimer Wahlen.

Die neueren Bedrohungen aus dem Cyberspace gerade gegen Kritische Infrastrukturen sind deutlich selektiver und vor allem auch regionaler in den avisierten Zielen und in der Weiterverbreitung. „Stuxnet“ ist das erste prominente Beispiel einer Schadsoftware für Kritische Infrastrukturen: Entwickelt, um sich auf Industrieanlagen eines bestimmten Herstellers und in einer bestimmten Region zu verbreiten und dort Zentrifugen so zu steuern, dass sie nicht das erwartete Produkt liefern, sondern sogar selbst defekt werden. Command- und Control-Server steuern Aktivität und Verbreitung der Schadsoftware sowie Softwareupdates mit neuen Funktionalitäten [ZETTER, 2014]. Diese geopolitischen, regionalen Aspekte der Schadsoftware, ihre Funktionalität genau wie die zeitlichen Dimensionen von Entwicklung und Aktivität der Schadsoftware über mehrere Jahre hinweg stellten in der IT-Sicherheit ein Novum dar.

Eine andere Facette des Themas „Lokal oder Global?“ illustrieren die Blackouts im Energiesektor. Blackouts können sich aus lokalen Unterbrechungen heraus zu einer regionalen oder globalen Bedrohung entwickeln. Beispiele sind der Blackout in Nordamerika, von dem KASPERSKY Jahre später behauptete, er wäre das Resultat eines Cyberangriffes



Abb. 3: Cyberthreat Real-Time Map [KASPERSKY LAB., 2018].

gewesen [CANZANI, 2016]. Auch die Blackouts in der Ukraine werden auf Schadsoftware wie beispielsweise „BlackEnergy“ [LEE et al., 2016] zurückgeführt. Solche Blackouts haben das Potential sich nicht nur innerhalb eines Sektors fortzupflanzen, sondern vor allem auch (alle) anderen Sektoren Kritischer Infrastrukturen zu betreffen.

Die Ransomware „Petya“ hat im Jahr 2017 weltweiten Schaden anrichten können: Der Logistikdienstleister MAERSK war 2017 von der Ransomware „Petya“ getroffen und hatte durch einen wochenlangen Ausfall zentraler IT einen Umsatzverlust von hunderten Millionen USD zu verzeichnen [PALMER, 2017] – in diesem Fall werden internationale Vernetzungen von Informationssystemen in globalen Wertschöpfungsketten als Verbreitungswege der Schadsoftware angenommen.

Nicht zuletzt sind auch Cyberkriminelle, also Threat Actors, die an finanziellen Gewinnen interessiert sind, international und global aktiv. So wird im März von der Festnahme eines Cyberkriminellen berichtet, der mehr als eine Milliarde Euro über Phishing und die Steuerung von Geldautomaten erbeuten konnte – allerdings war es vielfach für die Kriminellen notwendig, vor Ort zu sein, um das Bargeld direkt am Automaten abholen zu können [FOCUS ONLINE, 2018].

Nicht zuletzt reflektieren nationale und internationale Gesetzgebungen zur IT-Sicherheit globale, regionale und lokale Bedrohungen. Auf europäischer Ebene werden die Sektoren Energie und Transportwesen als Kritische Infrastrukturen mit europäischer Bedeutung entsprechend der EU Richtlinie genannt [REU, 2008]. Die einzelnen Staaten der Europäischen Union definieren „ihre“ kritischen Infrastrukturen jeweils für sich. Deutschland hat mit dem Gesetz zur Erhöhung der IT-Sicherheit informationstechnischer Systeme und der KRITIS Verordnung Sektoren definiert und Größen festgelegt, welche Organisationen als Kritische Infrastrukturen zu betrachten sind.

Lokal oder Global? Diese eklektische, nicht repräsentative Sammlung an Cyberbedrohungen demonstriert, dass IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen sowohl lokale als auch globale Aspekte hat: die ersten Viren und Würmer waren „global“, und auch heute gibt es Schwachstellen, die zu globalen Cyberbedrohungen werden können, jedoch kann Schadsoftware zielgerichtet für lokale und individuelle Gegebenheiten angepasst werden. Lokale und globale Aspekte gerade mit Bezug auf die Risiken für die Zivilgesellschaft definieren nationale und internationale Gesetzgebungen unterschiedlich und schaffen damit für die Sicherheit individuelle, lokale Rahmenbedingungen. Neben geopolitischen Entwicklungen beeinflussen auch technische, organisa-

torische Faktoren und der Faktor Mensch die Risiken für Kritische Infrastrukturen und die Zivilgesellschaft. Dies wird in den folgenden beiden Abschnitten beschrieben.

4. Vignette Technik Kritischer Infrastrukturen

Lokal und Global? In dieser Vignette gibt es mehrere Aspekte, die hier diskutiert werden sollen.

Zunächst soll die Dimension „Lokal - Global“ die Materialität Kritischer Infrastrukturen beleuchten: physischer Zugang, Langlebigkeit, aber auch gesetzliche Regelungen zum Betrieb von Anlagen, genau wie die möglichen Sicherheitsvorkehrungen spielen in Fragen der Sicherheit eine große Rolle und Suchmaschinen wie Shodan oder RiskViz lokalisieren die IP-Adressen in ihren Karten – das genügt, um die Kritischen Infrastrukturen zu identifizieren: Die globale Cyberwelt hat in den kritischen Infrastrukturen eine Verortung in der Realwelt. Die neue Welt der IT-Dienstleistungen und der Cloud Services definiert im Themenfeld der Kritischen Infrastrukturen speziell in Industrie 4.0 Zukunftsszenarien „lokal und global“ ein Stück weit neu – und das macht die Risikobewertung von globalen und lokalen Risiken für Kritische Infrastrukturen notwendig.

Verfügbarkeit (Availability) ist – neben Vertraulichkeit (Confidentiality) und Integrität (Integrity) – gerade in Kritischen Infrastrukturen das zentrale Schutzziel, um die Verfügbarkeit von Produkten und Dienstleistungen für die Zivilgesellschaft sicherzustellen. Auch die Verfügbarkeit von Produkten und Dienstleistungen hat einen Geobezug – was sich nicht zuletzt darin zeigt, dass Transport und Verkehr für Verfügbarkeit wichtig sind, als kritische Infrastrukturen gelten und auch in großen Angriffen unmittelbar betroffen waren.

Lokal oder Global? Die Bedrohungen stellen eine weitere Sicht auf dieses Thema dar. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie (BSI) hat eine Liste der „kritischen Bedrohungen“ gegen Kritische Infrastrukturen erstellt [BSI, 2016]. Diese Liste ist in Tabelle 1 dargestellt.

Unter den Top 10 Bedrohungen von Kritischen Infrastrukturen finden sich Bedrohungen, die sich gegen die Technik richten und die eher globaler Natur sind. „(D)DoS Angriffe“ (#9) oder „Infektion mit Schadsoftware über Internet und Intranet“ (#3) oder „Internet-verbundene Steuerungskomponenten“ (#6) sind solche globalen Themen. Andere Bedrohungen wie „Social Engineering und Phishing“ (#1) oder „Menschliches Fehlverhalten und Sabotage“ (#7) erfordern physischen oder virtuellen Zugang und

Tabelle 1: Die Top 10 der kritischen Bedrohungen von ICS Systemen nach BSI [2016].

Nr.	Bedrohungen
1	Social Engineering und Phishing
2	Einschleusen von Schadsoftware über Wechseldatenträger und externe Hardware
3	Infektion mit Schadsoftware über Internet und Intranet
4	Einbruch über Fernwartungszugänge
5	Menschliches Fehlverhalten und Sabotage
6	Internet-verbundene Steuerungskomponenten
7	Technisches Fehlverhalten und höhere Gewalt
8	Kompromittierung von Extranet und Cloud-Komponenten
9	(D)DoS Angriffe
10	Kompromittierung von Smartphones im Produktionsumfeld

Wissen über lokale Gegebenheiten, Begriffe, Look-and-Feel von Emails sind somit in dem Spektrum global – lokal auf der „lokalen“ Seite lokalisiert und bei diesen Themen hat der Faktor Mensch großen Einfluss. Auch das Thema „Fernwartungszugänge“ (#4) hat mit den Prozessen Fernwartungszugänge einzurichten, zu überwachen und dem Be-

rechtigungsmanagement eine lokale Dimension. Abbildung 4 zeigt eine Karte mit den von der Suchmaschine RiskViz identifizierten, vom Internet aus zugänglichen industriellen Kontroll- und Steuerungssystemen. Zu sehen sind regionale Unterschiede, die sich auf Industriestrukturen der Hersteller dieser Anlagen zurückführen lassen.

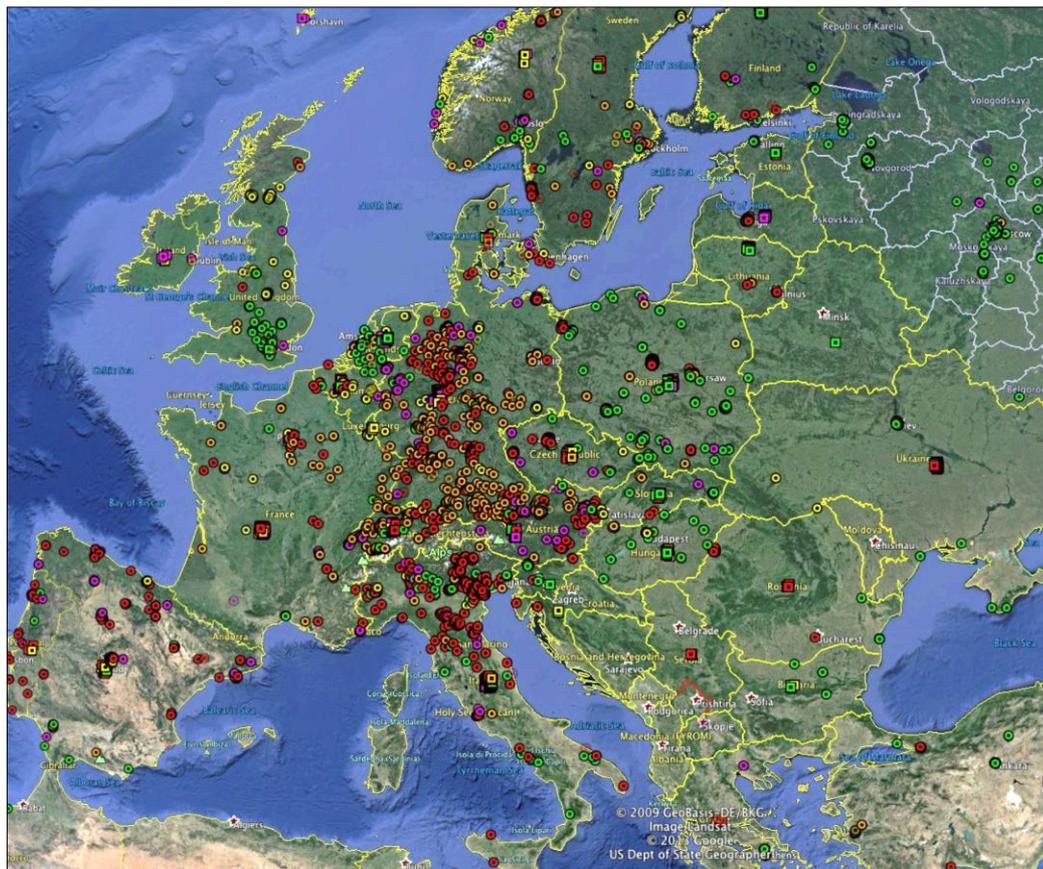


Abb. 4: Karte potentieller Verwundbarkeiten von Industriellen Steuerungsanlagen, gefunden von der Suchmaschine des Forschungsprojektes RiskViz (Projekt RiskViz – www.itskritis.de)

Lokal und Global – die physische Dimension spielt in der Technik Kritischer Infrastrukturen eine Rolle – die Cyberwelt ist mit „realer“ Physis verortet, genau wie die Verfügbarkeit von Produkten und Dienstleistungen.

5. Vignette Faktor Mensch

Die Einschätzung von Sicherheit und Risiken durch Menschen ist eine Frage von lokaler und globaler Perspektive. In der Studie „*Monitor IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen*“ [LECHNER, 2017] haben wir IT-Sicherheitsverantwortliche nach ihrer Einschätzung der Bedrohungslage für die eigene Organisation, die eigene Branche und den Wirtschaftsraum Deutschland gefragt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die Antworten auf diese Fragen zeigen ein durchgängiges Muster: Die eigene Situation wird als durchweg optimistischer eingeschätzt als die Bedrohungslage der Branche und die Bedrohungslage des Wirtschaftsraumes Deutschland. Dieses Phänomen der optimistischen Selbsteinschätzung ist als Optimism Bias bekannt und wurde auch in dem Themenfeld der IT-Sicherheit bereits von anderen Autoren thematisiert (vgl. bspw. HARTEN *et al.* [2014]). Generell treffen Menschen schlechte Entscheidungen angesichts abstrakter Risiken in der Zukunft. Für Forschung zu diesen Phänomenen menschlichen Verhaltens wurde der Nobelpreis für Wirtschaft im Jahr 2017 an RICHARD THALER verliehen: als Beispiele werden individuelle finanzielle Vorsorge für das Alter oder Ernährungsgewohnheiten genannt. THALER formuliert, dass kluge Entscheidungsarchitekturen notwendig sind, die Menschen die richtigen Entscheidungen einfach machen [THALER/SUNSTEIN, 2008]. Die Unterschiede zwischen der Selbsteinschätzung, der Einschätzung der Risikolage der Branche und der für den Wirtschaftsraum Deutschland ist auch auf kulturelle Distanz zurückzuführen. Kulturelle Distanz beeinflusst die Risikoeinschätzung: kulturelle Distanz korreliert mit der Höhe von wahrgenommenen Risiken in Geschäftsbeziehungen [SHENKAR, 2012; KRAUS *et al.*, 2015].

Die Einschätzung von Bedrohungen und Risiken durch Menschen, speziell durch Anwender ist ein sensibles Thema. Die Neutralisierungstheorie, eine aus der Kriminalpsychologie entlehnte Theorie, beschreibt, wie Menschen die Verletzung von IT-Sicherheitsrichtlinien vor sich selbst rechtfertigen, also neutralisieren [SIPONEN/VANCE, 2010]: die Arbeit muss gemacht werden oder das Argument, es entstünde kein Schaden, werden als Rechtfertigung für die „alltäglichen“ Verstöße gegen Sicherheits-

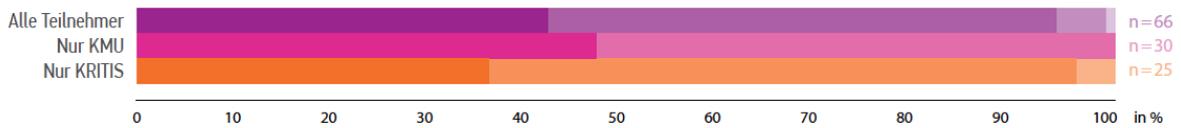
richtlinien genannt. Solche Neutralisierungen lassen sich nicht nur in der Büro-IT sondern auch in der IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen feststellen [RIEB *et al.*, 2017]. Die Auswirkungen und die Effektivität und Effizienz von Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung, von Abschreckung oder Bestrafung werden in der Literatur immer wieder mit unterschiedlichen Ergebnissen diskutiert [ROGERS, 1975; JOHNSTON/WARKENTIN, 2010; HÄNSCH/BENENSON, 2014; MOODY *et al.*, 2018].

Lokal oder Global? Die Einschätzung der Bedrohung und analog der Fähigkeiten, Cyberbedrohungen abzuwehren, unterliegt einem Optimism Bias und kann auch durch die Wahrnehmung und den Einfluss von kultureller Distanz auf Risikoeinschätzung erklärt werden. Neutralisierungstechniken wie die Rechtfertigung, dass kein realer Schaden durch eine Verletzung der IT-Sicherheitsrichtlinien entsteht, hilft aus Sicht der Sicherheit, risikoreiches Verhalten zu rechtfertigen. Helfen diese menschlichen Prädispositionen von Optimismus, die Wahrnehmungen von Distanz und Neutralisierungen, die richtigen Entscheidungen zu treffen? Helfen sie, die Risiken richtig wahrzunehmen? Der Nobelpreisträger RICHARD THALER fordert kluge Entscheidungsarchitekturen, um Menschen die richtige, die sichere Option im Handeln nahezubringen. Lokal oder Global hat mit den Metaphern von kultureller Distanz und Nähe der richtigen Entscheidungsoption in einer Architektur eine eigene Interpretation in dieser Vignette.

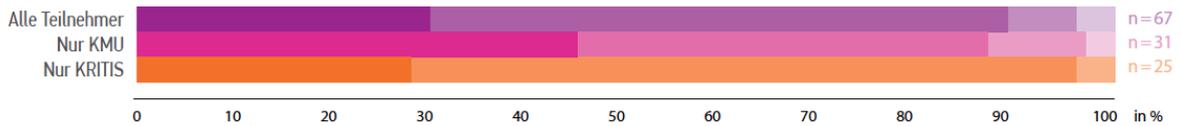
6. Vignette Organisation

Die Frage zu Lokal oder Global wird in einer Organisation als „*Individualsoftware oder Standardsoftware*“ beziehungsweise als „*Individueller Prozess oder Standardprozess*“ interpretiert. Die Technik Kritischer Infrastrukturen ist individuell und langlebig: Laufzeiten von 10 oder 50 Jahren sind keine Seltenheit und die Infrastruktur von Kraftwerken, Leitstellen von Verkehrsinfrastrukturen oder auch Produktionsanlagen stellen typischerweise individuelle, one-of-a-kind Lösungen dar, in denen allerdings auch Standardkomponenten der IT eingebaut sind. Änderungen wie Einspielen von Patches, Updates von Komponenten oder das Einbringen von IT-Sicherheitslösungen sind oft nicht möglich – aufgrund beispielsweise gesetzlicher Regelungen oder operativer Anforderungen. Die Technologie Kritischer Infrastrukturen unterscheidet sich in diesen Punkten von den stark uniformen IT-Landschaften in der Office-IT und den Standardprozessen in betrieblichen Anwendungssystemen. In den Unternehmensinformationssystemen sind Standardprozesse und Standardsoftware essentiell und Standards der

Wie hoch schätzen Sie die derzeitige Bedrohungslage im Bereich der IT-Sicherheit ein für den Wirtschaftsraum Deutschland?



Wie hoch schätzen Sie die derzeitige Bedrohungslage im Bereich der IT-Sicherheit ein für Ihre Branche?



Wie hoch schätzen Sie die derzeitige Bedrohungslage im Bereich der IT-Sicherheit ein für Ihre Organisation?



Abb. 5: Selbsteinschätzung der Bedrohungslage bei IT-Sicherheitsverantwortlichen [LECHNER, 2017].

IT-Sicherheit, also globale Ansätze, ein Schlüssel zu einem wirksamen Schutz. Solche Standardlösungen machen IT-Sicherheit ressourceneffizient und ermöglichen Zusammenarbeit in der Entdeckung und Elimination von Schadsoftware. Beispiele sind hier Virencanner, Intrusion Detection Systeme oder Firewalls, die als Standardkomponenten der IT-Sicherheit IT schützen.

Der Navigator für Normen und Standards zeigt Betreibern Kritischer Infrastrukturen interaktiv die für sie relevanten Normen und Standards sowie gesetzlichen Regelungen [RUDEL/LECHNER, 2018]. Austauschbeziehungen von klassifizierten Dokumenten zwischen Organisationen funktionieren, wie in unserer Fallstudie gezeigt, am besten auf der Basis gemeinsamer Standards sowohl in der Kommunikation (in diesem Falle per Email) als auch auf der Basis von Klassifikationen von Informationen [RIEB, 2018b]. Fernwartungszugänge abzusichern, ist bei Kritischen Infrastrukturen ein wesentliches Thema [RIEB, 2018a] – eine Lösung macht den Zugang nicht nur sicherer, sondern bietet auch eine Standardschnittstelle, die die Komplexität für alle Stakeholder im Thema Fernwartungszugänge reduziert und schon alleine damit einen Beitrag zur Sicherheit leistet. Unternehmensweite Prozesse mit Standardwerkzeugen für das Risikomanagement – wie sie von PREVENT als Teil des ITS|KRITIS Förderschwerpunktes entwickelt werden – können einen Beitrag für ein effektives und effizientes Risiko-

management leisten [RUDEL/BOLLEN, 2018] – wie es vom Gesetzgeber im IT-Sicherheitsgesetz gefordert wird (vgl. Bundesgesetzblatt vom 24. Juli 2015 [BMJV, 2015]).

Die Empirie aus den IT-Security Matchplays, einem Serious Game zur IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen, zeigen, dass die Spielteilnehmer sich vor allem organisatorische Maßnahmen vornehmen: stärkere Kooperation zwischen Anwendern und IT-Fachpersonal oder Umsetzung bestehender IT-Sicherheitsrichtlinien sowie einfache Vorkehrungen wie „Büro abschließen“ sind hier typische Beispiele, die illustrieren, wie wichtig Organisation für die IT-Sicherheit von KRITIS ist [RIEB et al., 2017].

7. Geoinformationen in der Cybersicherheit

Lokal oder Global? Welche Rolle können geographische Informationen bzw. Geoinformationen sowie globale Standards und Normen in der IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen spielen? Die vier Vignetten – Bedrohungen und Risiken, Technik, Organisation, Mensch – illustrieren, an welcher Stelle Cybersicherheit lokale oder globale Bezüge hat. Die Vignette „Beispiele“ zeigt auf, dass Cyberbedrohungen als global wahrgenommen werden, Ziele und Verbreitungswege „lokalen“ Bezug haben und es speziell in Kritischen Infrastrukturen Beispiele für sehr

lokale Angriffsvektoren gibt. Geoinformationen können also in der Analyse von Angriffsvektoren und Schadsoftware Hinweise geben. Die Vignette „*Tech-nik*“ illustriert die lokalen und globalen Facetten von Angriffsvektoren und Schwachstellen genau wie die Materialität von Kritischen Infrastrukturen – und für die Bewertung von Angriffsvektoren und Schutzniveaus können Geoinformationen eine wichtige Rolle spielen. Die Vignette „*Mensch*“ illustriert die tiefverwurzelten menschlichen Eigenschaften, die eigenen Risiken und Fähigkeiten durchweg optimistisch einzuschätzen, und das Konzept der kulturellen Distanz vermag ebenfalls Risikoeinschätzungen mit zu erklären. Unser Argument ist hier wiederum, dass es Sinn macht, Geoinformationen in der Analyse von Risiken mit einzubeziehen – sie bieten die Chance, die menschlichen Einschätzungen zu verstehen und ggf. zu korrigieren. Die Vignette „*Organisation*“ zeigt auf, dass globale Lösungen auch für die individuellen Systeme in Kritischen Infrastrukturen mit ihren lokalen Bezügen notwendig sind – gerade vor der Notwendigkeit von Effektivität und Effizienz sowie internationaler Zusammenarbeit in der IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen, wie sie aus dem Feld der Unternehmensinformationssysteme bekannt sind [LECHNER/REINHARDT, 2017]. Gerade vor dem Hintergrund von IT-Sicherheit (Security) und der Sicherheit der Zivilgesellschaft würden essentielle Geoinformationen, wie im Katastrophenschutz von Prof. REINHARDT analysiert [REINHARDT, 2014], einen wichtigen Beitrag zur IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen leisten.

8. Dank

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projektes VeSiKi, Förderkennzeichen 16KIS0213K.

Literatur / Quellen

- BMJV (= BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ) (Hrsg.) [2015]: Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme (IT-Sicherheitsgesetz) vom 17. Juli 2015. – In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2015 Teil I Nr. 31, ausgegeben zu Bonn am 24. Juli 2015. Bundesanzeiger-Verlag, Bonn, S. 1324-1331.
- BSI (= BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK) (Hrsg.) [2016]: Empfehlung: IT in der Produktion. Industrial Control System Security. TOP 10 Bedrohungen und Gegenmaßnahmen 2016. BSI-Veröffentlichungen zur Cybersicherheit, BSI-CS 005, Version 1.20 vom 01.08.2016, 20 S.
- CANZANI, Elisa [2016]: Modeling Dynamics of Disruptive Events for Impact Analysis in Networked Critical Infrastructures. – In: TAPIA, Andrea H. / ANTUNES, Pedro / BAÑULS, Victor A. / MOORE, Kathleen / PORTO DE ALBUQUERQUE, João (Hrsg.): ISCRAM2016 Conference Proceedings. 13th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, 22-25 May, Rio de Janeiro, Brazil, 13 S. ISBN: 978-84-608-7984-8
- DISCHERL, Hans-Christian [o. J.]: Gruselig: Die gefährlichsten Viren aller Zeiten. – Online-Publikation. https://www.freenet.de/digitalewelt/onlinesicherheit/gruselig-die-gefaehrlichsten-viren-aller-zeiten_2497742_4734620.html – letzter Aufruf: 29.03.2018
- FOCUS ONLINE (Hrsg.) [2018]: Cyber-Attacken auf Banken. Polizei schnappt nach den Eine-Milliarde Euro Räuber. – Online-Publikation. https://www.focus.de/digital/internet/cyber-attacken-auf-banken-polizei-schnappt-nach-den-eine-milliarde-euro-raeuber_id_8673616.html – letzter Aufruf: 29.03.2018
- HÄNSCH, Norman / BENENSON, Zinaida [2014]: Specifying IT Security Awareness. – In: MORVAN, Frank / WAGNER, Roland R. / TJOA, A Minh (Hrsg.): Proceedings Twenty-Fifth International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA 2014, 1-4 September 2014, Munich, Germany. IEEE Computer Society, Los Alamitos, S. 326-330. ISBN: 978-1-4799-5722-4 ISSN: 1529-4188 doi: 10.1109/DEXA.2014.71
- HARTEN, Clemens / SCHULTZ, Martin / SHAIKCO, Juwan / NÜTTGENS, Markus [2014]: Towards an Awareness Gap on Cybercrime – an Empirical Analysis of the Perceived Threat Level and Implemented IT Security Measures in Companies. – In: KUNDISCH, Dennis / SUHL, Leena / BECKMANN, Lars (Hrsg.): MKWI 2014. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, 26.-28. Februar 2014 in Paderborn. Tagungsband. Universität Paderborn, S. 533-546. ISBN: 978-3-00-045311-3
- JOHNSTON, Allan C. / WARKENTIN, Merrill [2010]: Fear Appeals and Information Security Behaviors: An Empirical Study. – In: MIS Quarterly, Vol. 34, Issue 3, S. 549-566. ISSN: 0276-7783
- KASPERSKY LAB. (Hrsg.) [2018]: Cyberthreat Real-Time Map. – Online-Publikation. <https://cybermap.kaspersky.com/> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- KRAUS, Sascha / AMBOS, Tina C. / EGGERS, Felix / CESINGER, Beate [2015]: Distance and perceptions of risk in internationalization decisions. – In: Journal of International Business Research, Vol. 68, Issue 7, S. 1501-1505. ISSN: 0148-2963 doi: 10.1016/j.jbusres.2015.01.041
- LECHNER, Ulrike (Hrsg.) [2017]: ITS|KRITIS|VeSiKi. Monitor – IT-Sicherheit Kritischer Infrastrukturen. Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 48 S. ISBN: 978-3-943207-26-2 <https://monitor.itskritis.de/monitor1/> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- LECHNER, Ulrike / DÄNNART, Sebastian / RIEB, Andreas / RUDEL, Steffi (Hrsg.) [2018]: IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen. Mensch – Organisation – Technik: Fallstudien zur IT-Sicherheit. (in Vorbereitung)
- LECHNER, Ulrike / REINHARDT, Wolfgang [2017]: Unternehmensinformationssysteme (Modulbeschreibung). Universität der Bundeswehr München.
- LEE, Robert M. / ASSANTE, Michael J. / CONWAY, Tim [2016]: TLP: White – Analysis of the Cyber Attack on the Ukrainian

- Power Grid – Defense Use Case. March 18, 2016. Electricity Information Sharing and Analysis Center (E-ISAC), Washington DC, 29 S.
https://ics.sans.org/media/E-ISAC_SANS_Ukraine_DUC_5.pdf – letzter Aufruf: 29.03.2018
- MOODY, Gregory D. / SIPONEN, Mikko / PAHNILA, Seppo [2018]: Toward a Unified Model of Information Security Policy Compliance. – In: MIS Quarterly, Vol. 42, No. 1, S. 285-311.
 ISSN: 0276-7783
 doi: 10.25300/MISQ/2018/13853
- PALMER, Danny [2017]: Petya ransomware: Cyberattack costs could hit \$300m for shipping giant Maersk. – Online-Publikation.
<https://www.zdnet.com/article/petya-ransomware-cyber-attack-costs-could-hit-300m-for-shipping-giant-maersk/> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- REINHARDT, Wolfgang P. [2014]: Geographic Information for Disaster Management – An Overview. – In: TEODORESCU, Horia-Nicolai / KIRSCHENBAUM, Alan / COJOCARU, Svetlana / BRUDERLEIN, Claude (Hrsg.): Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools, Part II: Tools and Applications. NATO Science for Peace and Security Series - C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, S. 225-238.
 ISBN: 978-94-017-9138-0 (paperback)
 ISBN: 978-94-017-9135-9 (hardcover)
 ISBN: 978-94-017-9136-6 (e-book)
- REU (= RAT DER EUROPÄISCHEN UNION) (Hrsg.) [2008]: Richtlinie 2008/114/EG des Rates vom 8. Dezember 2008 über die Ermittlung und Ausweisung europäischer kritischer Infrastrukturen und die Bewertung der Notwendigkeit, ihren Schutz zu verbessern. – In: Amtsblatt der Europäischen Union vom 13.12.2008. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, L 345/75 – L 345/82.
 ISSN: 2363-202X
- RIEB, Andreas [2018a]: Fernwartung Kritischer Infrastrukturen. – In: LECHNER, Ulrike / DÄNNART, Sebastian / RIEB, Andreas / RUDEL, Steffi (Hrsg.) [2018]: IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen. Mensch – Organisation – Technik: Fallstudien zur IT-Sicherheit. (in Vorbereitung)
- RIEB, Andreas [2018b]: Informationssicherheit durch ClassifyIt – Informationssicherheit durch IT-gestützte Klassifizierung von Dokumenten und E-Mails. – In: LECHNER, Ulrike / DÄNNART, Sebastian / RIEB, Andreas / RUDEL, Steffi (Hrsg.) [2018]: IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen. Mensch – Organisation – Technik: Fallstudien zur IT-Sicherheit. (in Vorbereitung)
- RIEB, Andreas / GURSCHLER, Tamara / LECHNER, Ulrike [2017]: A Gamified Approach to Explore Techniques of Neutralization of Threat Actors in Cybercrime. – In: SCHWEIGHOFER, Erich / LEITOLD, Herbert / MITRAKAS, Andreas / RANNENBERG, Kai (Hrsg.): Privacy Technologies and Policy. 5th Annual Privacy Forum, APF 2017, Vienna, Austria, June 7-8, 2017, Revised Selected Papers. Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10518. Springer, Cham, S. 111-127.
 ISBN: 978-3-319-67279-3 (Druck)
 ISBN: 978-3-319-67280-9 (e-book)
 ISSN: 0302-9743 (Druck)
 ISSN: 1611-3349 (e-book)
- ROGERS, Ronald W. [1975]: A Protection Motivation Theory of Fear Appeals and Attitude Change I. – In: The Journal of Psychology, Vol. 91, Issue 1, S. 93-114.
 ISSN: 0022-3980
 doi: 10.1080/00223980.1975.9915803
- RUDEL, Steffi / BOLLEN, Torsten [2018]: IT-Sicherheit für Geschäftsprozesse im Finanzsektor – die Managementlösung PREVENT. – In: LECHNER, Ulrike / DÄNNART, Sebastian / RIEB, Andreas / RUDEL, Steffi (Hrsg.) [2018]: IT-Sicherheit in Kritischen Infrastrukturen. Mensch – Organisation – Technik: Fallstudien zur IT-Sicherheit. (in Vorbereitung)
- RUDEL, Steffi / LECHNER, Ulrike (Hrsg.) [2018]: IT-Sicherheit für Kritische Infrastrukturen – State of the Art. (in Vorbereitung)
- SHENKAR, Oded [2012]: Cultural distance revisited: Towards a more rigorous conceptualization and measurement of cultural differences. – In: Journal of International Business Studies, Vol. 43, No. 1, S. 1-11.
 ISSN: 0047-2506
 doi: 10.1057/jibs.2011.40
- SIPONEN, Mikko / VANCE, Anthony [2010]: Neutralization: New Insights into the Problem of Employee Information Systems Security Policy Violations. – In: MIS Quarterly, Vol. 34, No. 3, S. 487-502.
 ISSN: 0276-7783
- SYNOPSIS (Hrsg.) [2017]: The Heartbleed Bug. – Online-Publikation.
<http://heartbleed.com/> – letzter Aufruf: 29.03.2018
- THALER, Richard H. / SUNSTEIN, Cass R. [2004]: Nudge. Improving Decisions About Health, Wealth and Happiness. Yale University Press, New Haven, X, 293 S.
 ISBN: 978-0-300-12223-7
- ZETTER, Kim [2014]: Countdown to Zero Day. Stuxnet and the launch of the world's first digital weapon. Crown Publications, New York, 433 S.
 ISBN: 978-0-7704-3617-9

Anschriften der Verfasserinnen:

Prof. Dr. ULRIKE LECHNER
 Universität der Bundeswehr München
 Fakultät für Informatik
 Institut für Angewandte Informatik
 Professur für Wirtschaftsinformatik
 D-85577 Neubiberg
 Tel.: +49 / (0)89 / 6004 - 2504
 E-Mail: Ulrike.Lechner@unibw.de

Dr. STEFFI RUDEL
 Leiterin des Projektes „Vernetzte IT-Sicherheit für Kritische Infrastrukturen“
 Universität der Bundeswehr München
 Fakultät für Informatik
 Institut für Angewandte Informatik
 D-85577 Neubiberg
 Tel.: +49 / (0)89 / 6004 - 2207
 E-Mail: Steffi.Rudel@unibw.de

Modelle der realen Welt für die Bildinterpretation

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit Modellen der realen Welt für die Bildinterpretation, die der Autor seit Anfang der 90er Jahre zuerst bei Siemens und später an der Universität der Bundeswehr München (UniBwM) z. T. in Interaktion mit dem Kollegen WOLFGANG REINHARDT entwickelt hat. Am Anfang stand die Extraktion von semantischer Information aus gescannten Karten, die WOLFGANG REINHARDT bei Siemens bzw. Siemens Nixdorf Informationssysteme (SNI) mit betreut hat. In der Folge entwickelte der Autor Modelle für photographische Bilder der Objekte, beginnend mit Straßen in Luftbildern. Im Laufe der Zeit kamen Vegetation und Gebäude hinzu, wobei die Aufnahmen von Satelliten und UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), z.T. zusammen mit höchst aufgelösten Bodenaufnahmen, stammen. Der Beitrag zeigt Entwicklungslinien auf, analysiert diese und gibt einen Ausblick auf die Zukunft.

Summary

Models of the Real World for Image Interpretation

This contribution is concerned with models of the real world for image interpretation, which I have developed since the 90ies at first at Siemens and later at Bundeswehr University Munich (UniBwM) partly in interaction with my colleague WOLFGANG REINHARDT. It started with the extraction of semantic information from scanned maps, which WOLFGANG co-supervised at Siemens and Siemens Nixdorf Informationssysteme (SNI). Later, I developed models for photographic images of objects, starting with roads in aerial images. Over the years vegetation and buildings were added and images stem from satellites and UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) possibly in combination with very high resolution terrestrial pictures. The contribution presents directions of development, analyzes them and gives an outlook to the future.

1. Einleitung

Die Interpretation von Bilddaten impliziert ein dahinter stehendes Modell oder eine Modellierungstechnik. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit den vom Autor seit Anfang der 90er Jahre entwickelten Modellen für Objekte der realen Welt und deren Abbildung. Hierbei wird die Entwicklung von einer expliziten symbolischen, strukturellen Modellbildung Anfang der 90er Jahre über den Fokus auf statistische und 3D-Modellierung seit ungefähr dem Jahr 2000 hin zur impliziten Modellierung mittels Convolutional (Neural) Networks an Hand verschiedener Typen von Objekten aufgezeigt. Abschließend wird diese Entwicklung analysiert und es wird ein Ausblick auf die Zukunft gegeben.

2. Modellierung für die semantische Interpretation von gescannten Karten

Am Anfang standen Arbeiten zur Interpretation von gescannten Karten [MAYER, 1994a]. Die grundlegende Idee bestand in einer expliziten Modellierung von Objekten und Relationen. Diese erfolgte auf Grundlage eines semantischen Netzes [NIEMANN et al., 1990], wobei die Objekte als Knoten und die Re-

lationen als Kanten modelliert wurden. Um automatische Schlussfolgerung auf Grundlage des Netzes zu ermöglichen, fand eine Beschränkung auf wenige Arten von Relationen, speziell auf die Teil- und die Spezialisierungsrelation statt. Damit war der Ablauf für die Schlussfolgerung aus dem semantischen Netz ableitbar.

Um allein auf Grundlage von Teil- und Spezialisierungsrelationen modellieren zu können, waren spezielle Objekte wie „*pavement_cycle-track_road-side_parallel_to_road*“ (siehe Abb. 1) notwendig. Dieses drückt aus, dass Straßenrand und Gehweg meist parallel zur Straße verlaufen. Darüber hinaus umfassten die Objekte spezielle Funktionen, die Information über Geometrie, Topologie und Semantik kodierten, deren Semantik aber außerhalb der automatischen Schlussfolgerung stand. Dies vergrößerte die Ausdrucksfähigkeit stark, macht zugleich aber eine logische Konsistenzprüfung unmöglich.

Bereits in MAYER [1994b] wurde analysiert, wieweit das in Objektartenkatalogen wie z.B. ATKIS vorliegende Wissen über Objekte ausreicht, um diese aus Bildern zu extrahieren. Das Ergebnis der Analyse war, dass zwar die Angaben im ATKIS Objektartenkatalog für menschliche Operateure ausreichend sind, aber weil insbesondere weder das Wissen über das Aussehen noch die Relationen der Objekte explizit gegeben sind, sind die Angaben für

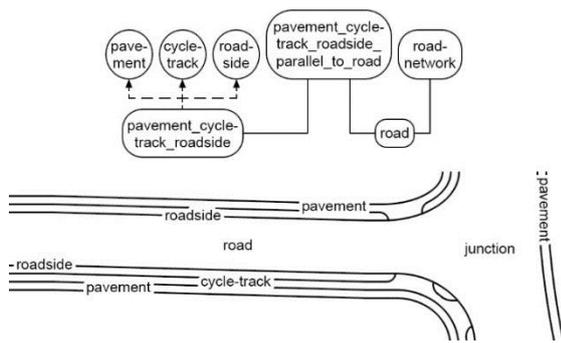


Abb. 1: Modellierung von Straße und parallelen Objekten in Form eines semantischen Netzes nach MAYER [1994b]. Pfeile implizieren Spezialisierung und für die durchgezogenen Linien sind die unteren Objekte Teile der oberen.

eine automatische Interpretation von Bildern absolut nicht ausreichend. Im Endeffekt wird angenommen, dass der menschliche Operateur im Laufe seines Lebens und seiner Tätigkeit gelernt hat, was die Objekte ausmacht. Der Objektartenkatalog spezifiziert, basierend auf diesem Wissen, nur Details der Erfassung.

3. Modellierung von Straßen in Luft- und Satellitenbildern

Zu Beginn erfolgte die Modellierung für die Straßenextraktion aus Luftbildern wiederum auf Grundlage von semantischen Netzen, allerdings nurmehr auf „konzeptueller“ Ebene, d.h. zur Strukturierung des Wissens. Die Implementierung erfolgte hingegen vor allem in C++.

Der Schwerpunkt der Modellierung für Straßen in Luftbildern [MAYER et al., 1997] lag auf deren Maßstabsverhalten und Kontext (siehe Abb. 2). Bezüglich Maßstabsverhalten führten Experimente auf Grundlage der Maßstabsraum-(Scale-Space)-Theorie [LINDBERG, 1994] zu der Erkenntnis, dass sich Straßen in unterschiedlichen Maßstäben/Auflösungen verschieden verhalten. Während bei ca. 2 m Auflösung eine Straße einer Linie entspricht, ist sie bei einer Auflösung von 25 cm eine langgestreckte Fläche. Bei der feineren Auflösung werden Markierungen sichtbar, die wiederum Linien entsprechen. In der in Abb. 2 oben gezeigten Modellierung wird neben dem Maßstabsverhalten noch explizit sichtbar gemacht, dass die Erscheinung eines Objektes im Bild von dessen physikalischer Beschaffenheit (Geometrie und Material) abhängt. Damit wird es möglich, Modelle zu erstellen, die sich (zumindest

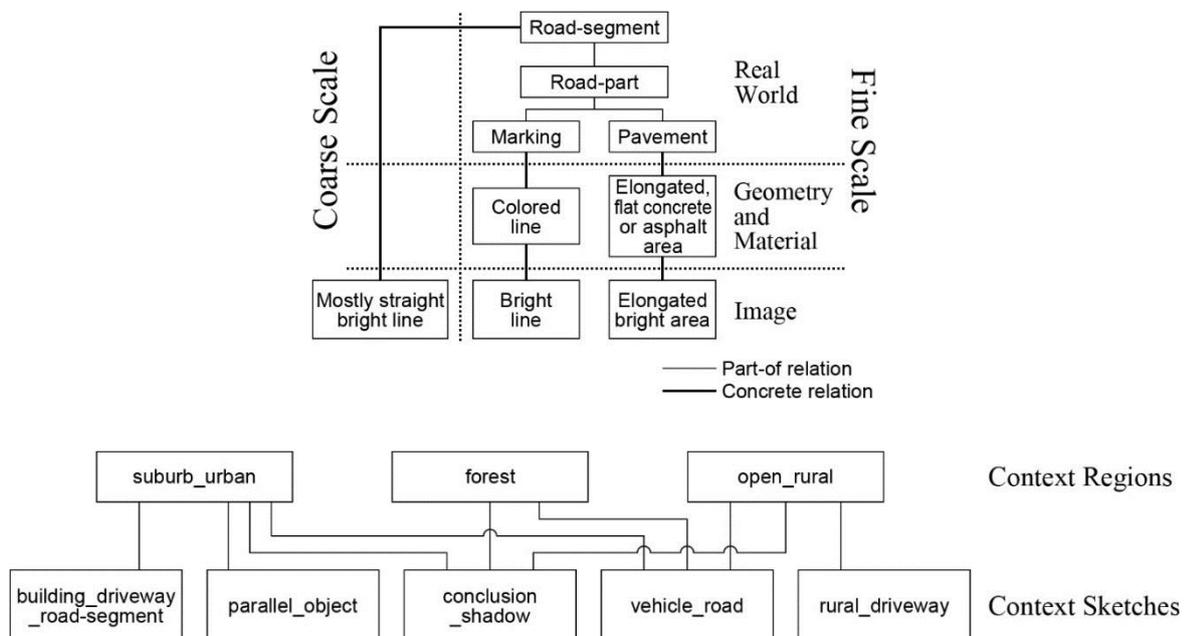


Abb. 2: Modellierung von Straßen in Bildern nach MAYER et al. [1997].
 Oben: Maßstabsverhalten und Unterscheidung in Abbildung im Bild und physikalischen Eigenschaften (Geometrie und Material).
 Unten: Kontext von Straßen in Bildern in verschiedenen Kontextregionen.

konzeptionell) für sehr verschiedene Wellenlängen und Abbildungsprinzipien, wie z.B. perspektive Abbildung von sichtbarem Licht und Synthetisches Apertur Radar (SAR), eignen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist in Abb. 2 unten dargestellt: Objekte sind in vielen Fällen für sich alleine nicht eindeutig erkennbar – erst ihre Umgebung (Kontext) ermöglicht eine eindeutige Erkennung. Typische Fälle werden mit Kontextskizzen beschrieben. In vielen Fällen ist allerdings der Kontext eines Objektes wiederum von der Umgebung der Kontextskizze abhängig. So gibt es im Wald und in der offenen Landschaft meist keine parallel ausgerichteten Objekte wie Gebäude und Einfahrten zu Feldern gibt es nur in der offenen Landschaft. All diese Informationen können für die Interpretation genutzt werden und werden in den Kontextregionen zusammengefasst.

In der Straßenextraktion in hoch aufgelösten Satellitenbildern [BACHER/MAYER, 2005; BACHER, 2006] werden zur Modellierung vor allem zwei Eigenschaften von Straßen verwendet:

- Straßen verbinden bedeutende Örtlichkeiten (wenn möglich) effizient miteinander,
- Straßen besitzen parallele Ränder.

Die erste Eigenschaft wird mittels des im das Straßennetz abbildenden Graphen definierten Umwegfaktors [BACHER, 2006] formalisiert. Dieser drückt das Verhältnis zwischen der im Moment realen

Netzwerkentfernung und der durch Schließen einer Lücke möglichen (optimalen) Entfernung aus. Für Verbindungen mit großen Umwegfaktoren wird zuerst verifiziert, ob die Lücken geschlossen werden können:

$$\text{Umwegfaktor} = \frac{\text{Netzwerkentfernung}}{\text{optimale Entfernung}}$$

Die zweite Eigenschaft wird gewinnbringend für die automatische Generierung von Trainingsgebieten für die multispektrale Klassifikation genutzt. Diese werden aus parallelen Kanten mit einer hellen Linie in der Mitte gebildet (siehe Abb. 3). Die hohe Spezifität dieser Eigenschaft ermöglicht es, dass auf eine aufwändige manuelle Definition der Trainingsgebiete weitestgehend verzichtet werden kann.

4. Abstraktion durch Maßstabsräume

Die grundlegenden Erkenntnisse zum Maßstabsverhalten bei der Straßenextraktion inspirierten eine Nutzung in anderen Bereichen. Insbesondere erschienen Ereignisse im Maßstabsraum geeignet, um abstrakte(re) Repräsentationen von Objekten zu generieren, wie sie für die Generalisierung von Karten und GIS-Objekten notwendig sind [MAYER, 1998]. Abb. 4 zeigt, wie mittels morphologischem Opening und Closing die Topologie von Objekten bzw. Ob-

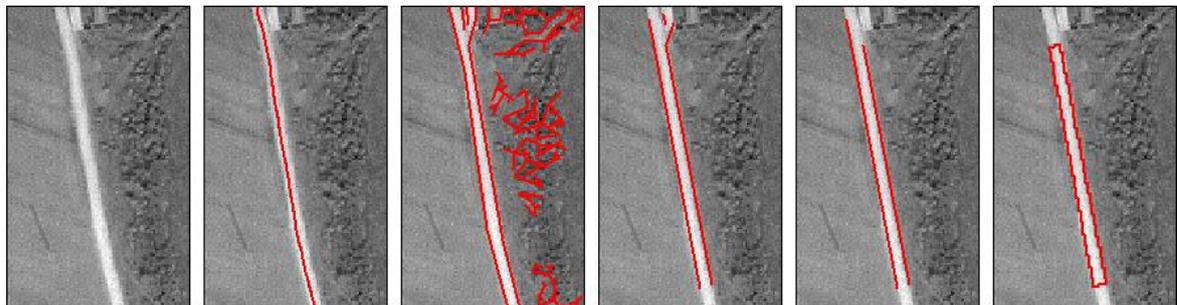


Abb. 3: Extraktion von Trainingsgebieten für die Straßenextraktion nach BACHER [2006].
 Von links nach rechts: Bild, helle Linie, Kanten, Kanten in Puffer um Linie, parallele Kanten, Trainingsgebiet in Form von überlappenden parallelen Kanten auf beiden Seiten einer hellen Linie.

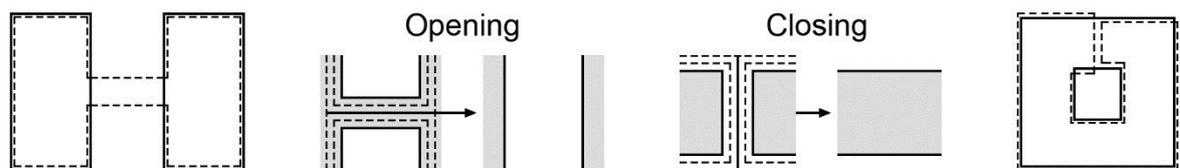


Abb. 4: Ereignisse bei morphologischem Opening und Closing aus MAYER [1998]. Während beim Opening eine schmale Verbindung zwischen zwei Objekten eliminiert wird, verschmelzen beim Closing zwei bisher getrennte Objekte miteinander bzw. es wird ein Ring geschlossen.

jektgruppen verändert werden kann. Beim Opening werden einzelne Objekte in mehrere aufgetrennt und beim Closing mehrere Objekte zu einem Objekt verschmolzen oder es wird ein Ring geschlossen. Die entwickelten Prinzipien wurden auch in 3D übertragen [FORBERG/MAYER, 2006].

5. Aussehensbasierte Modellierung

Die in MAYER/REZNIK [2006] und REZNIK/MAYER [2008] beschriebene 3D-Fassadeninterpretation basiert auf dem teilebasierten Ansatz zur aussehensbasierten Objektextraktion „Implicit Shape Model“ von LEIBE et al. [2004]. Aussehensbasierte Ansätze beruhen auf der Erkenntnis, dass Merkmale in Form von Kanten, Linien oder Punkten feinere Strukturen von Objekten nicht detailliert genug beschreiben. Auf der anderen Seite ist eine Repräsentation eines Objektes in Form eines großen Bildausschnittes zu unflexibel. Aussehensbasierte Ansätze verbinden daher kleine Bildausschnitte mit deren geometrischer Anordnung. Spezifisch bedeutet das beim Implicit Shape Model im Falle einer horizontal ausgerichteten Fassade mit normierter Auflösung, dass Punkte automatisch extrahiert werden (siehe Abb. 5). Kleine Bildausschnitte um die Punkte herum wer-

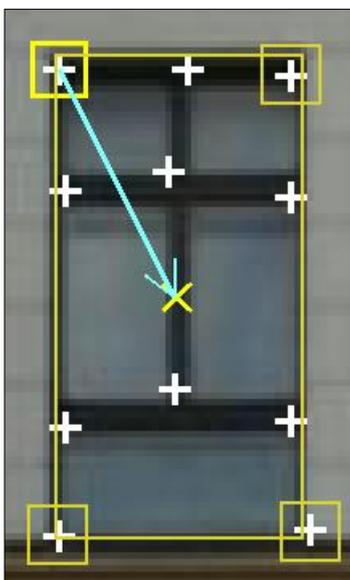


Abb. 5: Modellierung von Objekt (Fenster) in MAYER/REZNIK [2006] auf Grundlage eines Implicit Shape Models [LEIBE et al., 2004], bei dem die Umgebungen von automatisch detektierten Punktmerkmalen (gelbe Quadrate) in geometrischen Bezug zum vorgegebenen Mittelpunkt des Objektes gesetzt werden.

den zusammen mit dem relativen Vektor zwischen Punkt und Mittelpunkt des Objektes (z.B. Fenster oder Tür) abgespeichert. Hiermit wird das detaillierte Aussehen von punktförmigen Strukturen für die Objekte inklusive ihrem geometrischen Verhältnis zum Objektmittelpunkt modelliert.

6. Statistisch generative Modellierung

Generative Modellierung impliziert, dass eine Simulation des Objektes möglich ist. Da reale Objekte dreidimensional (3D) sind, folgt daraus auch, dass die Objekte räumlich modelliert werden müssen. Statistisch bedeutet, dass die Modellierung nicht deterministisch erfolgt, sondern im Rahmen einer vorgegebenen statistischen Verteilung variiert.

Für die statistisch generative Extraktion von unbelaubten Laubbäumen [HUANG/MAYER, 2009] wird ein Lindenmayer (L-) System [MĚCH/PRUSINKIEWICZ, 1996] aus der Computergraphik verwendet. Mit diesem wird die generative Verzweigungsstruktur von Bäumen modelliert (siehe Abb. 6). In den hierbei verwendeten Produktionsregeln steht die Variable F für Wachstum, d.h. für ein neues Zylinderstück. Die Konstanten beschreiben die Rotation um spezifische Achsen („+“ und „-“ bedeuten Neigung nach oben oder unten, „<“ und „>“ Azimut nach links und rechts) und die Erzeugung von neuen Ästen eingeschlossen in „[“ und „]“. Eine Produktionsregel gibt vor, wie F in der nächsten Iteration zu ersetzen ist. Abb. 6 zeigt, dass unterschiedliche Produktionsregeln zu verschiedenen Verzweigungsstrukturen führen.

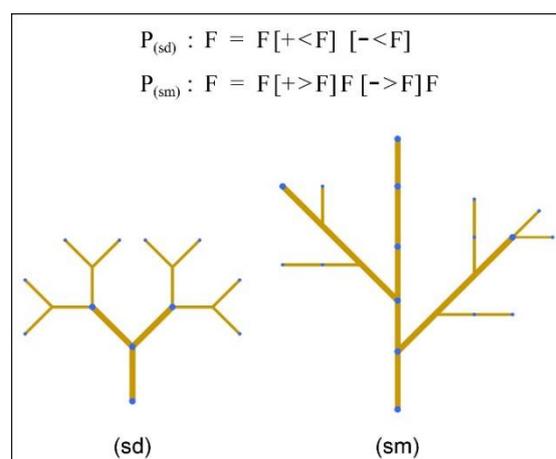


Abb. 6: Verzweigungsstrukturen von Bäumen aus HUANG [2008] – (sd) = sympodial-dichasium, (sm) = sympodial-monochasium. Die Produktionsregeln sind oben, die graphischen Darstellungen unten wiedergegeben.

Der statistische Anteil besteht grundlegend aus Prior-Verteilungen für die Parameter, wie z. B. Neigung, Ausrichtung, Dicke oder Länge eines Astes. Aufbauend auf dem gegebenen Stamm werden auf Basis von L-System und Prior-Verteilungen virtuelle 3D-Modelle für den Baum erzeugt.

Die grundlegende Idee der Interpretation von Bildern auf dieser Grundlage besteht darin, virtuelles und reales Bild zu vergleichen und damit eine (statistische) Likelihood zu schätzen. Dies ist umso erfolgversprechender, je realistischer das virtuelle Bild ist. Während in *HUANG [2008]* statistisches Rauschen verwendet wurde, was zu einer sehr beschränkten Diskriminativität führte, wurde in *HUANG/MAYER [2009]* der Hintergrund mit Bildverarbeitungsverfahren geschätzt, wodurch gute und schlechte Hypothesen deutlich besser trennbar wurden.

Die geschätzte Likelihood führt zusammen mit den Prior-Verteilungen für die Parameter zu einer Maximum-a-Posteriori (MAP) Schätzung. Im vorliegenden Ansatz wird zur statistischen Variation des Modells eine Kombination von Monte Carlo und Markov Chain Monte Carlo (MCMC) Stichprobengenerierung verwendet. Das heißt, neben einer rein zufälligen, den Prior-Verteilungen folgenden Parametergenerierung (Monte Carlo) wird bei Vorliegen eines relativ zu anderen guten Ergebnisses (d. h. MAP Schätzung) diese lokal in einer Nachbarschaft des Ergebnisses verfeinert (MCMC). Darüber hinaus

werden nicht einfach zufällig Bäume überall im Raum generiert, sondern die Hypothesen basieren auf diskriminativ aus mehreren Bildern bestimmten 3D-Stämmen in Form von Zylindern. Dies kann als vereinfachte Variante der in *TU et al. [2005]* vorgeschlagenen Kombination von generativer und diskriminativer statistischer Modellierung gesehen werden.

Durch die zufällige Erzeugung von Stichproben variieren die Ergebnisse. Solange diese allerdings innerhalb der Variabilität der menschlichen Erfassung liegen, ist dies im Normalfall akzeptabel.

7. 3D-Modellierung von Gebäuden

In *MAYER et al. [2012]* wurde ein System zur Orientierung von Bildern bei bekannter gegenseitiger Überlappung vorgestellt, das in *MICHELINI/MAYER [2016]* auf die Nutzung von unsortierten Bildmengen erweitert wurde. Dies bildet die Grundlage für den Ansatz zur dichten 3D-Rekonstruktion [*KUHN et al., 2014; 2016*], der auf dem semiglobalen Matching von *HIRSCHMÜLLER [2008]* beruht. Die sich ergebenden hoch detaillierten 3D-Modelle bildeten die Eingabedaten für *NGUATEM/MAYER [2016; 2017]* zur 3D-Rekonstruktion von Gebäuden.

Der Kern der Modellierung in *NGUATEM/MAYER [2016]* besteht in zusammenhängenden (contiguous) Patches (siehe Abb. 7). Hierbei werden

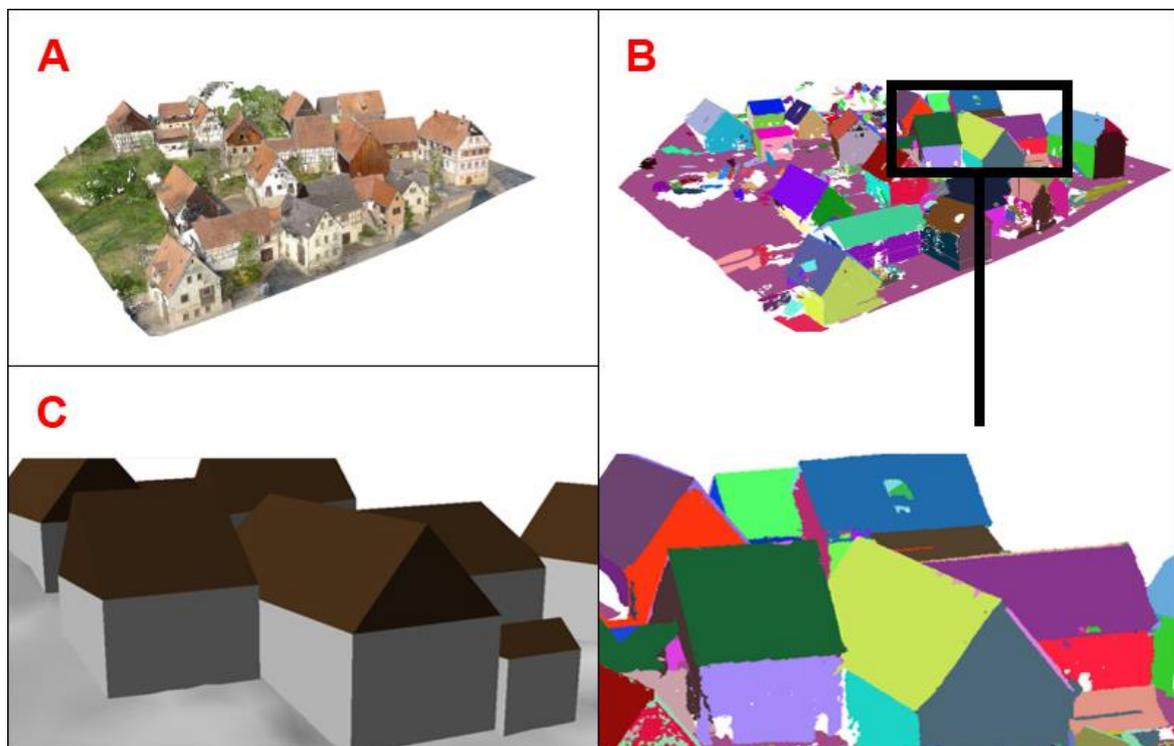


Abb. 7: Modellierung von Gebäuden in Punktwolken (A) auf Grundlage von zusammenhängenden Patches (B), die zu symmetrisch geneigten Dachstrukturen (C) führen.

in Voxeln vorgegebener Größe mittels RANSAC [FISCHLER/BOLLES, 1981] Ebenen angepasst. Aus den Normalen der Ebenen werden mittels statistischer Inferenz auf Grundlage von Dirichlet Process Mixture (DPM) und Zusammenhangskomponentenanalyse die zusammenhängenden (und ähnlich orientierten) Patches abgeleitet. Letztere sind in NGUATEM/MAYER [2017] die Grundlage, um bei gegebener Vertikale die als symmetrisch geneigte Flächen modellierten Dachflächen zu finden.

In NGUATEM et al. [2014] werden aufbauend auf als ungefähr bekannt angenommenen Fassadenebenen die Fenster und Türen in dichten 3D-Punktwolken aus Bildzuordnung als „Löcher“ in der Fassade modelliert (s. Abb. 8). Weil die Fassadenebene nur ungefähr bekannt ist, wird diese variiert, und für die verschiedenen Varianten werden jeweils Fenster und Türen bestimmt, die dann fusioniert werden. Als Modell wird ein Rechteck verwendet, wobei der obere Teil durch verschiedene Typen von Bögen (z. B. romanisch oder gotisch) ersetzt werden kann. Die Modelle werden an Bereiche mit starken Gradienten in der Tiefe bezüglich der Fassade angepasst. Hierzu wird ein Monte Carlo Ansatz inkl. Modellauswahl verwendet. Über die bekannte 3D-Lage der Fassade sind am Ende auch die 3D-Positionen von Fenstern und Türen bekannt.

8. Deep Learning

Neuronale Netze waren lange Zeit nur in speziellen Anwendungen verbreitet, da für das Training der häufig voll verbundenen Schichten für größere Probleme extreme Rechenleistungen und vor allem riesige Mengen an Trainingsdaten notwendig sind. Diese Situation hat sich mit der Einführung der Convolutional (Neural) Networks (CN) geändert. Hierbei werden die Verbindungen zwischen den Schichten in Analogie zu einer Faltung (Convolution) wiederholt. Hiermit reduziert sich die Zahl der notwen-

digen Parameter drastisch. Weitere Entwicklungen, die das Training großer CN möglich machen, sind die ideal für CN geeignete massive Rechenleistung hochgradig parallel arbeitender Graphikkarten (GPUs) und die „Augmentation“, bei der zusätzliche Trainingsdaten durch Modifikation der gegebenen Trainingsdaten, z. B. in Form von Spiegelung oder Homographien, erzeugt werden. Dies alles führt zu extrem leistungsfähigen Systemen [KRIZHEVSKY et al., 2012], die in einigen Bereichen den Stand der Technik mit einer deutlich besseren Leistungsfähigkeit als alle anderen Modellierungstechniken bilden. Anzumerken ist auch, dass es oft nicht notwendig ist, das ganze Netz zu trainieren, sondern vor allem für die ersten Schichten auf Standarddaten, wie z. B. Imagenet, trainierte Schichten [KRIZHEVSKY et al., 2012] übernommen werden können, was den Rechenaufwand und die Menge der notwendigen Trainingsdaten stark reduziert.

Das CN in SCHMITZ/MAYER [2016] wird zur Interpretation von Fassadenbildern genutzt, aus denen die Fassadenfläche, Fenster, Türen und Sonstiges extrahiert werden. Die verwendete Architektur (s. Abb. 9) reduziert zuerst die gegebenen Bildaten mit Convolutions in der Größe. Hiermit wird eine Interaktion in einer größeren Umgebung ermöglicht. Die damit erzielte Klassifikation wird anschließend mit einer inversen Convolution (Deconvolution) in Kombination mit Information aus den in der Größe unterschiedlich stark reduzierten ersten Schichten wieder in der Bildauflösung verbessert. In dem so trainierten Netzwerk werden das Aussehen der Objekte und ihre gegenseitige Anordnung implizit durch die Gewichte des Netzes modelliert.

9. Zusammenfassung, Analyse und Ausblick

Seit der gemeinsamen Zeit mit WOLFGANG REINHARDT bei Siemens bzw. Siemens Nixdorf hat sich

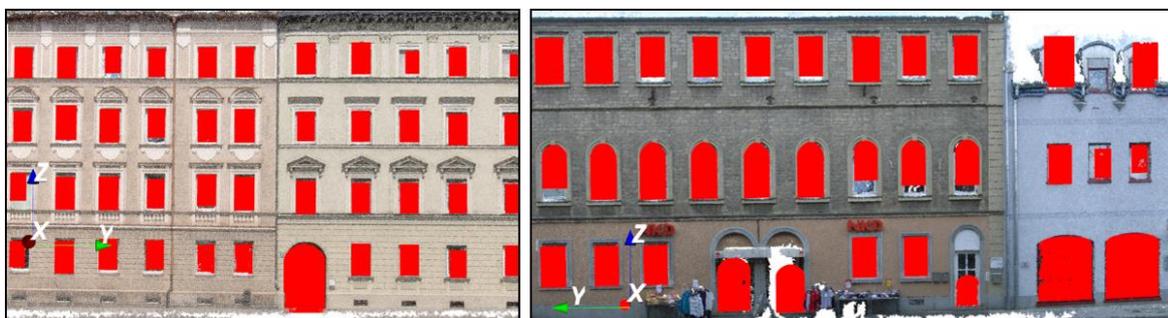


Abb. 8: Fenster und Türen als „Löcher“ in der Fassade [NGUATEM et al, 2014], die grundlegend als Rechteck modelliert werden. Der obere Teil des Rechtecks kann durch verschiedene Typen von Bögen (z. B. romanisch oder gotisch) ersetzt werden.

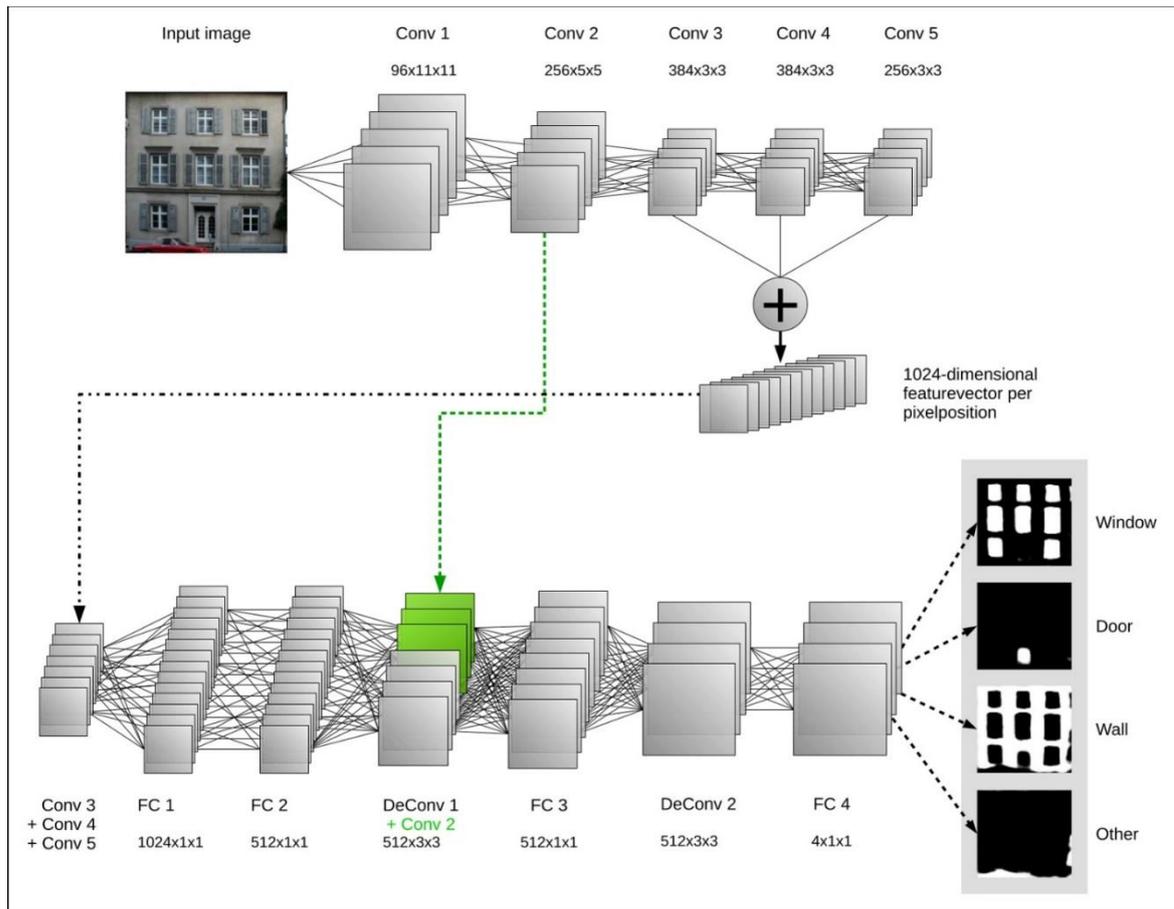


Abb. 9: Das Convolutional Network aus SCHMITZ/MAYER [2016] verwendet eine implizite Modellierung von Fenstern, Türen, Wänden und anderen Objekten über die Gewichte, die die einzelnen Schichten entweder komplett (Fully Connected – FC) oder in Form von Convolutions (Conv) bzw. Deconvolutions (DeConv) verbinden.

in der Modellierung vieles geändert. Am Anfang standen symbolische/strukturelle Methoden. Seit Mitte der 90er Jahre lag ein Schwerpunkt der Arbeiten auf dem Maßstabsverhalten von Objekten inkl. Maßstabsereignissen. Ab der Jahrtausendwende begann die Beschäftigung mit statistischen Verfahren. Durch die parallel entwickelten Methoden zur Orientierung von Bildern und zur dichten 3D-Rekonstruktion wurde die Modellierung von 3D-Objekten wie Gebäuden und Bäumen möglich. Die neuesten Arbeiten beschäftigen sich mit impliziten Convolutional Networks zur Interpretation von Fassaden.

Insgesamt sind verschiedene Entwicklungen feststellbar:

- Die Modellierung war anfangs deterministisch und wurde dann mehr und mehr statistisch. Insbesondere spielen bei der Automatisierung, bei der große Mengen grob falscher Daten (Ausreißer) entstehen, extrem robuste Verfahren wie RANSAC [FISCHLER/BOLLES, 1981] eine große Rolle. Daneben sind aber auch die Modelle un-

sicher und somit statistische Samplingverfahren wie Markov Chain Monte Carlo (MCMC) von großer Bedeutung. Auch wenn Convolutional Networks meist explizit nicht statistisch sind, so bilden sie dennoch implizit die Statistik der Daten und Modelle ab.

- Am Anfang erfolgte die Modellierung sehr explizit in Form von für die Schlussfolgerung implementierten semantischen Netzen. Die später verwendeten konzeptionellen Modelle sind bereits deutlich impliziter und im letzten Jahrzehnt wurden zwar noch Konzepte/Objekte wie Gebäude, Straßen, Fenster, Türen und deren Relationen angesprochen, aber die Modellierung erfolgte mehr oder weniger implizit geometrisch und in großen Teilen statistisch.
- Ein Fokus der Arbeiten des Autors lag am Anfang auf dem Maßstabsverhalten der Objekte und später auf der 3D-Modellierung. Beide ermöglichen eine deutlich realistischere Modellierung der Welt und damit bessere Ergebnisse.

- Während Bildinformation am Anfang in die symbolische Form von Punkten, Kanten oder Segmenten abstrahiert wurde, begann mit der aussehensbasierten Modellierung die direkte Nutzung der detaillierten Bildinformation, die sich mit den Convolutional Networks fortsetzt.
- Die Modelle wurden am Anfang in Form von Parametern und Schwellwerten vorgegeben. Mit den Arbeiten zur aussehensbasierten Modellierung begann das Lernen von Teilen der Modelle. Bei Deep Learning liegt jetzt der Schwerpunkt auf dem Lernen.

Deep Learning ist der momentane Trend im Bereich der Bildinterpretation. Die Verbesserung der Ergebnisse ist z. T. beachtlich. Trotzdem bleibt eine Reihe von Fragen offen. Spezifische Fragen sind z. B., wie eine gemeinsame Analyse mehrerer Bilder mit 3D-Ergebnissen auf ein Neuronales Netz abgebildet werden kann? Eine allgemeine Frage besteht darin, wie weit ein vollkommen generisches Netz in der Lage ist, komplexe Probleme zu lösen? Die neuronalen Strukturen bei Tieren und Menschen sind vorgegeben und das Lernen erfolgt aufbauend auf diesen. Fragen bestehen auch dahingehend, ob die im Vergleich zum biologischen Vorbild sehr einfachen Verknüpfungen ausreichend sind, um eine ähnliche Leistungsfähigkeit zu erzielen? Und zuletzt spielt bei praktisch, z. B. in Fahrzeugen zur automatischen Steuerung, eingesetzter Software auch die Frage nach der Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen eine u. U. ausschlaggebende Rolle. Die Begründung, dass das Convolutional Network sich nach dem Training einfach so verhält, wird einen Geschädigten eines durch ein autonomes System verursachten Unfalls wahrscheinlich nicht befriedigen.

Literatur / Quellen

- BACHER, Uwe [2006]:* Automatische Straßenextraktion aus optischen Satellitenbildern hoher und höchster Auflösung. Dissertation. Universität der Bundeswehr München, Neuburg, 109 S.
<http://athene-forschung.unibw.de/node?id=86111> – letzter Aufruf: 06.11.2017
- BACHER, Uwe / MAYER, Helmut [2005]:* Automatic Road Extraction from Multispectral High Resolution Satellite Images. – In: *STILLA, Uwe / ROTTENSTEINER, Franz / HINZ, Stefan (Hrsg.):* Proceedings of the ISPRS Workshop CMRT 2005: Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms and Evaluation, 29-30 Aug. 2005, Vienna, Austria. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-3/W24, S. 29-34.
ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W24/papers/CMRT05_Bacher_Mayer.pdf – letzter Aufruf: 06.11.2017
- FISCHLER, Martin A. / BOLLES, Robert C. [1981]:* Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. – In: *Communications of the ACM*, Vol. 24, No. 6, S. 381-395.
ISSN: 0001-0782
<https://www.sri.com/sites/default/files/publications/ransac-publication.pdf> – letzter Aufruf: 06.11.2017
- FORBERG, Andrea / MAYER, Helmut [2006]:* Simplification of 3D Building Data. – In: *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*, 131. Jhrg., Heft 3, S. 148-152.
ISSN: 0044-3689
- HIRSCHMÜLLER, Heiko [2008]:* Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. – In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 30, Issue 2, S. 328-341.
ISSN: 0162-8828
- HUANG, Hai [2008]:* Terrestrial Image Based 3D Extraction of Urban Unfoliated Trees of Different Branching Types. – In: *CHEN, Jun / JIANG, Jie / FÖRSTNER, Wolfgang (Hrsg.):* Proceedings of the XXII ISPRS Congress, Technical Commission III, July 3-11, 2008, Beijing, China. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII-B3a, S. 253-258.
ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/3_pdf/39.pdf – letzter Aufruf: 07.11.2017
- HUANG, Hai / MAYER, Helmut [2009]:* Generative statistical 3D reconstruction of unfoliated trees from terrestrial images. – In: *Annals of GIS*, Vol. 15, Issue 2, S. 97-105.
ISSN: 1947-5683
- KRIZHEVSKY, Alex / SUTSKEVER, Ilya / HINTON, Geoffrey E. [2012]:* ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. – In: *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2012)*, Vol. 25, S. 1097-1105.
<https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf> – letzter Aufruf: 07.11.2017
- KUHN, Andreas / MAYER, Helmut / HIRSCHMÜLLER, Heiko / SCHARSTEIN, Daniel [2014]:* A TV Prior for High-Quality Local Multi-View Stereo Reconstruction. – In: *Proceedings, 2014 2nd International Conference on 3D Vision (3DV 2014)*, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 8-11 Dezember 2014, Vol. 1. IEEE Computer Society, Los Alamitos, S. 65-72.
ISSN: 1550-6185
eISBN: 978-1-4799-7001-8
- KUHN, Andreas / HIRSCHMÜLLER, Heiko / SCHARSTEIN, Daniel / MAYER, Helmut [2016]:* A TV Prior for High-Quality Scalable Multi-View Stereo Reconstruction. – In: *International Journal of Computer Vision*, Vol. 124, Issue 1, S. 2-17.
ISSN: 0920-5691
eISSN: 1573-1405
- LEIBE, Bastian / LEONARDIS, Ales / SCHIELE, Bernt [2004]:* Combined Object Categorization and Segmentation with an Implicit Shape Model. – In: *ECCV'04 Workshop on Statistical Learning in Computer Vision*, May 15, 2004, Czech Technical University, Prague, S. 1-16.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.5.6272&rep=rep1&type=pdf> – letzter Aufruf: 07.11.2017
- LINDBERG, Tony [1994]:* Scale-Space Theory in Computer Vision. The Kluwer International Series in Engineering and

- Computer Science (SECS), Vol. 256: Robotics: Vision, manipulation and sensors. Kluwer Academic Publishers, Boston/London/Dordrecht, XII, 423 S.
 ISBN: 0-7923-9418-6
 ISSN: 0893-3405
- MAYER, Helmut [1994a]: Automatische wissensbasierte Extraktion von semantischer Information aus gescannten Karten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 417. Bayerische Akademie der Wissenschaften München / Beck in Komm., München, 113 S.
 ISBN: 3-7696-9461-9
- MAYER, Helmut [1994b]: Is the Knowledge in Map-legends and GIS-models Suitable for Image Understanding? – In: WELCH, Roy (Hrsg.): Proceedings of the Symposium Mapping and Geographic Information Systems, May 31 - June 3, 1994, Athens, Georgia, USA. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 4, S. 52-59.
 ISSN: 0256-1840
- MAYER, Helmut [1998]: Model-Generalization of Building Outlines Based on Scale-Spaces and Scale-Space Events. – In: SCHENK, Toni / HABIB, Ayman (Hrsg.): ISPRS Commission III Symposium Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels, July 6-10, 1998, Columbus, Ohio. RICS Books, Coventry. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 3/1, S. 530-536.
 ISSN: 0256-1840
- MAYER, Helmut / BALSAVIAS, Emmanuel / BACHER, Uwe [2006]: Automated Extraction, Refinement, and Update of Road Databases from Imagery and Other Data. – In: EuroSDR Projects. European Spatial Data Research (Euro SDR) Official Publication, No. 50, S. 217-280.
 ISSN: 0257-0505
- MAYER, Helmut / BARTELTSEN, Jan / HIRSCHMÜLLER, Heiko / KUHN, Andreas [2012]: Dense 3D Reconstruction from Wide Baseline Image Sets. – In: DELLAERT, Frank / FRAHM, Jan-Michael / POLLEFEYS, Marc / LEAL-TAIXÉ, Laura / ROSENHAHN, Bodo [Hrsg.]: Outdoor and Large-Scale Real-World Scene Analysis. 15th International Workshop on Theoretical Foundations of Computer Vision, Dagstuhl Castle, Germany, June 26 - July 1, 2011. Lectures Notes in Computer Science (LNCS), Band 7474. Springer, Heidelberg/Dordrecht/London/New York, S. 285-304.
 ISSN: 0302-9743
 eISSN: 1611-3349
 ISBN: 978-3-642-34090-1
 eISBN: 978-3-642-34091-8
- MAYER, Helmut / LAPTEV, Ivan / BAUMGARTNER, Albert / STEGER, Carsten [1997]: Automatic Road Extraction Based on Multi-scale Modeling, Context, and Snakes. – In: KRUPNIK, Amnon (Hrsg.): ISPRS WG III/2, III/3 and II/8 Joint Workshop on Theoretical and Practical Aspects of Surface Reconstruction and 3D Object Extraction, September 9-11, 1997, Haifa, Israel. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 3/2-W3, S. 106-113.
 ISSN: 0256-1840
- MAYER, Helmut / REZNIK, Sergiy [2006]: MCMC Linked with Implicit Shape Models and Plane Sweeping for 3D Building Facade Interpretation in Image Sequences. – In: FÖRSTNER, Wolfgang (Hrsg.): Symposium on ISPRS Commission III Photogrammetric Computer Vision (PCV'06), Bonn, Germany, 20-22 September 2006. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36, Part 3, S. 130-135.
 ISSN: 1682-1750
- MĚCH, Radomír / PRUSINKIEWICZ, Przemyslaw [1996]: Visual Models of Plants Interacting with Their Environment. – In: FUJII, John (Hrsg.): SIGGRAPH'96, Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, New Orleans, USA, August 4-9, 1996. Association for Computer Machinery (ACM), New York, S. 397-410.
 ISBN: 0-89791-746-4
http://delivery.acm.org/10.1145/240000/237279/p397-mech.pdf?ip=137.193.150.146&id=237279&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=2BA2C432AB83DA15%2E2A25F324ACF6B22F%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&CFID=826651855&CFTOKEN=14603738&__acm__=1510045341_a47b84f77c261f92884be650224b3d91 – letzter Aufruf: 07.11.2017
- MICHELINI, Mario / MAYER, Helmut [2016]: Efficient Wide Baseline Structure from Motion. – In: HALOUNOVÁ, Lena / SCHINDLER, Konrad / LIMPOUCH, Ales / PAJDLA, Tomas / ŠAFÁŘ, Václav / MAYER, Helmut / OUDE ELBERINK, Sander / MALLET, Clément / ROTTENSTEINER, Franz / BRÉDIF, Mathieu / SKALOUD, Jan / STILLA, Uwe (Hrsg.): XXIII ISPRS Congress, Commission III, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. III-3, S. 99-106.
 ISSN: 2194-9042 (Druck)
 ISSN: 2196-6346 (CD-ROM)
 eISSN: 2194-9050 (Internet/USB)
<https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/III-3/99/2016/isprs-annals-III-3-99-2016.pdf> – letzter Aufruf: 07.11.2017
- NGUATEM, William / DRAUSCHKE, Martin / MAYER, Helmut [2014]: Localization of Windows and Doors in 3d Point Clouds of Facades. – In: SCHINDLER, Konrad / PAPANODITIS, Nicolas (Hrsg.): ISPRS Technical Commission III Symposium, 5-7 September 2014, Zurich, Switzerland. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. II-3, S. 87-94.
 ISSN: 2194-9042 (Druck)
 ISSN: 2196-6346 (CD-ROM)
 eISSN: 2194-9050 (Internet/USB)
<https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-3/87/2014/isprsannals-II-3-87-2014.pdf> – letzter Aufruf: 07.11.2017
- NGUATEM, William / MAYER, Helmut [2016]: Contiguous Patch Segmentation in Pointclouds. – In: ROSENHAHN, Bodo / ANDRES, Bjoern (Hrsg.): Pattern Recognition. 38th German Conference, GCPR 2016, Hannover, Germany, September 12-15, 2016, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 9796. Springer International Publishing, Cham, S. 131-142.
 ISSN: 0302-9743
 eISSN: 1611-3349
 ISBN: 978-3-319-45885-4
 eISBN: 978-3-319-45886-1
- NGUATEM, William / MAYER, Helmut [2017]: Modeling Urban Scenes From Pointclouds. – In: 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2017), Venice, Italy, October 22-29, 2017. S. 3837-3846.
http://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2017/html/Nguatem_Modeling_Urban_Scenes_ICCV_2017_paper.html – letzter Aufruf: 22.11.2017

NIEMANN, Heinrich / SAGERER, Gerhard / SCHRÖDER, Stefan / KUMMERT, Franz [1990]: ERNEST: A Semantic Network System for Pattern Understanding. – In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, Issue 9, S. 883-905.

ISSN: 0162-8828

REZNIK, Sergiy / MAYER, Helmut [2008]: Implicit Shape Models, Self-Diagnosis, and Model Selection for 3D Facade Interpretation. – In: Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG), Heft 3/2008, S. 187-196.

ISSN: 1432-8364

SCHMITZ, Matthias / MAYER, Helmut [2016]: A Convolutional Network for Semantic Facade Segmentation and Interpretation. – In: HALOUNOVÁ, Lena / SCHINDLER, Konrad / LIMPOUCH, Ales / PAJDLA, Tomas / ŠAFÁŘ, Václav / MAYER, Helmut / OUDE ELBERINK, Sander / MALLEY, Clément / ROTTENSTEINER, Franz / BRÉDIF, Mathieu / SKALOUD, Jan / STILLA, Uwe (Hrsg.): XXIII ISPRS Congress, Commission III, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLI-B3, S. 709-715.

ISSN: 1682-1750 (Druck)

ISSN: 2194-9034 (Internet / USB)

<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B3/709/2016/isprs-archives-XLI-B3-709-2016.pdf> – letzter Aufruf: 07.11.2017

TU, Zhuowen / CHEN, Xiangrong / YUILLE, Allen L. / ZHU, Song-Chun [2005]: Image Parsing: Unifying Segmentation, Detection and Recognition. – In: International Journal of Computer Vision, Vol. 63, Issue 2, S. 113-140.

ISSN: 0920-5691

eISSN: 1573-1405

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. HELMUT MAYER

Universität der Bundeswehr München

Fakultät für Informatik

Institut für Angewandte Informatik

Professur für Visual Computing

D-85577 Neubiberg

Tel.: +49 / (0)89 / 6004 - 3429

E-Mail: Helmut.Mayer@unibw.de

How Maps Serve a Smart City

Summary

The paper is dedicated to two interaction forms between maps and smart city: (1) smart maps demanded by a smart city, and (2) smarter maps shaping the future city. In the first form, maps are regarded as reflector of what has happened and is happening in a city. They provide descriptive and diagnostic services to keep users informed of the “health” of a city and alert them to potential problems. In the second form, maps play the role of a precursor indicating what will happen in a city. They provide predictive and prescriptive services to illustrate future scenarios and guide users not only how to do things right, but also how to do right things in given problem scenarios. Using representative examples for each of the categories from descriptive, diagnostic, predictive to prescriptive services, the author analyses the underlying design strategies and outlines the state of the art of cartographic visualization.

Keywords: Event map, visual storytelling, dashboard, mashup

Zusammenfassung

Der Beitrag widmet sich zwei Interaktionsformen zwischen Karten und Smart City: (1) Smart Maps, die von einer Smart City gefordert werden, und (2) intelligenteren Karten, welche die zukünftige Stadt darstellen. In der ersten Form werden Karten als Spiegelbild dessen betrachtet, was in einer Stadt passiert ist und geschieht. Sie bieten beschreibende und diagnostische Dienste, um die Nutzer über die „gesunden“ Zustand einer Stadt auf dem Laufenden zu halten und ihn vor möglichen Problemen zu warnen. In der zweiten Form spielen Karten die Rolle eines Vordenkers, der anzeigt, was in einer Stadt passieren wird. Sie bieten voraussagende und verordnende Dienste, um Zukunftsszenarien zu veranschaulichen und den Benutzer nicht nur anzuleiten, was er richtig machen kann, sondern auch, wie er sich in bestimmten Problemszenarien richtig verhalten soll. Anhand repräsentativer Beispiele für alle Kategorien von erläuternden, diagnostischen, voraussagenden bis hin zu vorschreibenden Dienstleistungen analysiert die Autorin die zugrundeliegenden Designstrategien und skizziert den Stand der kartographischen Visualisierung.

Schlüsselwörter: Ereigniskarte, visuelles Geschichtenerzählen (Storytelling), Dashboard, Mashup

1. Introduction

Cities are epicenters of numerous global social changes in the world history. The intensive human-nature interactions have also made cities ideal test beds and frontline showcases for scientific inventions and technical innovations. However, the over-concentration of population, infrastructure facilities and services in urban areas has led to the excessive consumption of non-renewable resources, thus an increased urban vulnerability. The growing pain of cities urges policy makers, planners, scientists, entrepreneurs and citizens to collaborate and alter the course of urbanization from going “big” to going “smart”.

The concept “smart city” was coined at the turn of the new millennium with the aim to allow energy efficient dwellings, networked mobility, green and clean environment, and an inclusive social life. A smart city is made to survive and thrive. Recently, there is an upsurge in the research intensity on smart city triggered by big data and the Internet of things. Factories are being digitized down to the disparate elements of machinery and equipment, which are then connected to allow measurement, control, com-

munication and self-optimization of processes for planning, production and delivery. Cars have been transformed from mechanical systems to veritable computers on wheels. Over 4,000 sensors are making an average car run and analyzing the interactive behavior between the driver and the urban environment [MASSARO *et al.*, 2017]¹.

Geospatial scientists belong to the most active game changers with two substantial contributions. On the one hand, they systematically acquire georeferenced urban data by means of omnipresent close-range and remote sensing technologies. On the other hand, they develop ubiquitous map services to support the understanding of the highly complex urban landscape by different user groups for different tasks.

2. Smart maps demanded by a smart city

A smart city needs smart maps as digital twins to mirror its “now and here” reality and communicate

¹ siehe: <http://senseable.mit.edu/vwsensing>

the up-to-date urban information to the general public. How smart these maps can be for the information communication is a matter of usability that could be measured in terms of effectiveness, efficiency and user satisfaction. The effectiveness and efficiency are the necessary qualities indicating the expected functionality of map symbols incl. their interactive operations, and the relative easiness for users to comprehend the functionality. Both effectiveness and efficiency can be quantitatively measured against user tasks. User satisfaction, however, is a subjective experience related to the visual perception and cognitive behavior of individual users upon seeing a map. This hardly quantifiable measure has made the quality assessment of map services a long-lasting bottleneck. Recent years there is a growing interest and trust in employing the eye tracking technology, functional magnetic resonance imaging (fMRI) and other emerging sensory devices for both indoor and outdoor map use settings [KIEFER *et al.*, 2017]. Eye movement patterns and neural activities in different brain areas are external manifestations of internal cognitive processes. By inspecting eye-mind mechanism related to map use, researchers are able to gain some insight into user satisfaction in a more objective way [LIU *et al.*, 2017].

Smart maps for communication purposes may be designed to be either descriptive or diagnostic. Descriptive maps typically visualize the geo-referenced raw data or processed data answering questions of “what”, “where” and “how much”. Users are given an overview on spatial distributions of various themes, or they are kept informed of the development trends based on statistical mean values, the most frequently occurring phenomena etc. If the focus is set on outliers, extremes, infection points, gaps, erroneous data, or any other off-track information, users may be alerted to anomalies and potential problems in their living environments. Diagnostic maps go a step further than descriptive ones. They typically reveal the reasoning results on inter-relationships of available datasets, or the impact of data of past on the present. Therefore, they help users answer questions of “why”. Two examples are given in figure 1 and figure 2, with one showing the risk levels inferred from a gust, and the other illustrating the association between night lights and city safety.

With the development of multimedia technologies, the cartographic typology has been dramatically extended in the recent two decades, leading to enriched expressiveness of 2D city plans and immersiveness of 3D city models. An urban mapping system can accommodate multiple map services which can be placed side by side, overlaid upon each other, encapsulated within each other, or transfer



Fig. 1: Risk to lives and property (above) inferred from gust (below) [ACCUWEATHER, 2017].

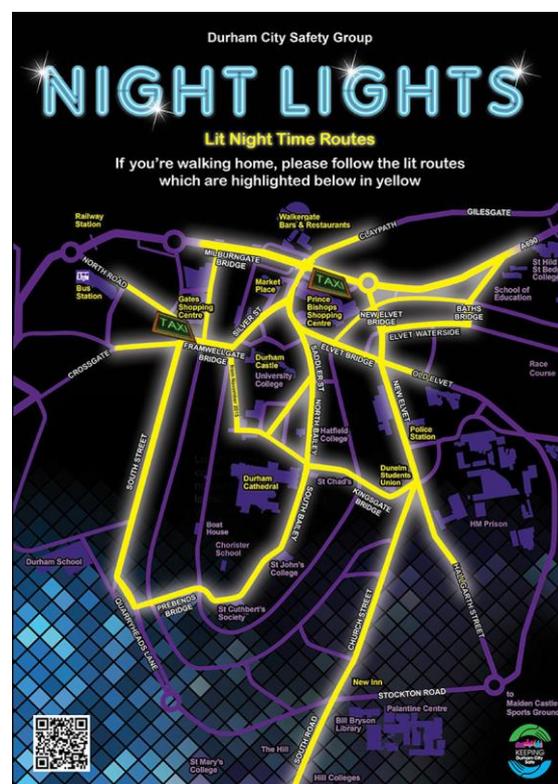


Fig. 2: Safety group associated with street lights. [DURHAM COUNTY COUNCIL, 2016, p. 9].

from one to another. Users are enabled to view distribution patterns of various urban climate aspects incl. energy consumption, air pollution, traffic jams etc. that are otherwise not visible, to perceive the relative importance of different urban features, to peel off a complex scenario layer by layer, or to dive into different levels of details of a building block. The maps are no longer confined to line work symbols and orthographic projection.

In addition to standard city plans, following design styles are being experimented in the practice with a growing popularity:

- **Anamorphic maps**

They utilize unusual projections and exaggerated distortions to catch user's immediate attention or to serve specific user tasks. Figure 3 demonstrates a horizonless projection of Manhattan. Figures 4 a-c shows three alternative visualizations from MVV GmbH. Figure 4 a serves the general use with orthographic projection, but figure 4 b-c are two anamorphic options serving public transportation and ticket pricing respectively.

- **Photorealistic city models**

They make use of advanced computer graphics to mimic the optical impression of the urban landscape at different levels of detail.

- **Non-photorealistic city models**

They preserve the naturalistic impression of the urban landscape while keeping the design flexibility to accentuate the relative importance of surface features and integrate semantic information. Figure 5 exemplifies the difference between a photorealistic city model of Berlin and its non-photorealistic option in which important landmarks are visually accentuated so that they can be easily perceived even from a large viewing distance.

- **Personalized mobile maps**

They are tailored to individual users and their mobile tasks such as localization, wayfinding and navigation in complex urban environment.

- **Multi-layered image maps**

They extend the figure-ground composition of conventional image maps to multiple visual layers, allowing raster imagery, vector objects, geo-tags and texts to be highlighted in different ways as shown in figure 6.

- **Event maps**

They visualize events as basic queryable spatiotemporal information units and document dynamic changes in urban environment within given time ranges [POLOUS, 2016].

- **Map-based visual storytelling**

They convert multiple related geo-datasets, se-



Fig. 3: A horizonless projection in Manhattan [BERG, 2005].

quences of events or scenarios into meaningful stories with maps as the playground to demonstrate how characters try to resolve conflicts by accomplishing goals in their living environments [MADHAVAN *et al.*, 2012]. Each visual story can be told from different perspectives for entertainment, education and marketing purposes. Figure 7 exemplifies a map-based detective story.

Although the aforementioned design styles fit different user groups and different purposes, they share the same principle of addressing human emotions and behavior patterns by following the so-called AIDA (Attention, Interest, Desire, Action) sequence.

3. Smarter maps shaping the future city

Descriptive and diagnostic maps may improve our understanding of a great number of human-nature interactions. Nevertheless, we do not necessarily gain an insight into the complex and dynamic urban processes. Creating digital twins of smart cities is a

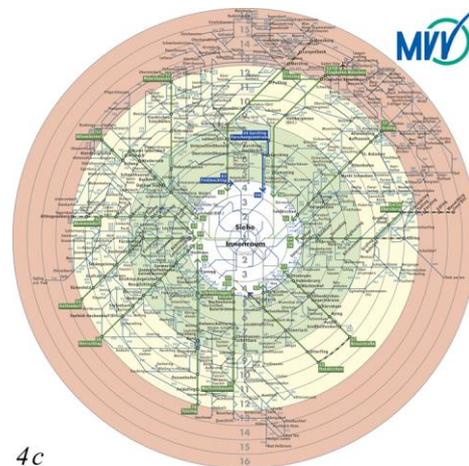
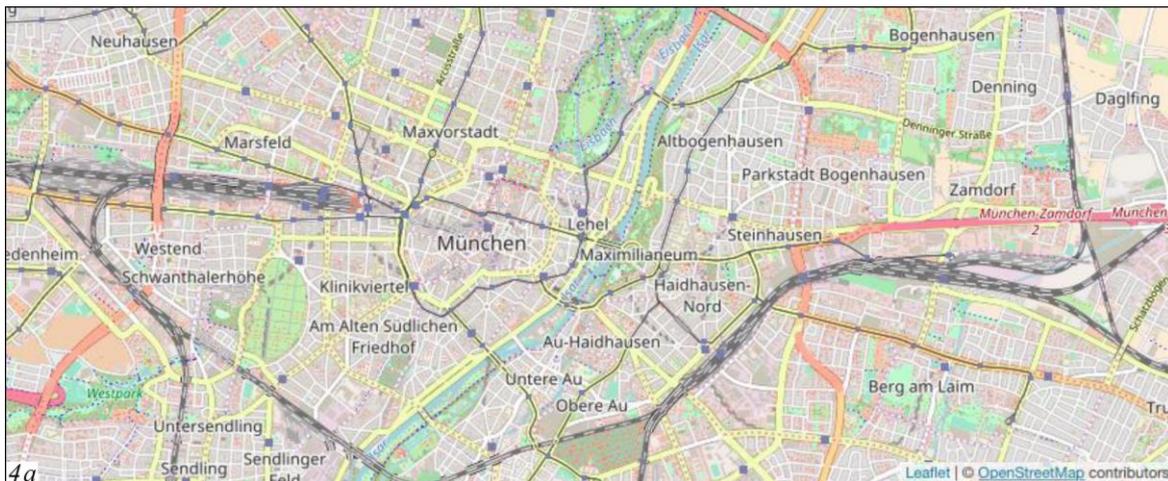


Fig. 4: Alternative visualizations of Munich city plan:
 (4a): overview of the city [PORTAL MÜNCHEN BETRIEBS-GMBH & Co., 2018],
 (4b): public transportation system [SCHÜTZ/MERATH, 2017],
 (4c): price zones for traffic tickets [MVV, 2018].



Fig. 5: Photorealistic city of Berlin (left) and its non-photorealistic visualization (right) [GLANDER et al., 2007].

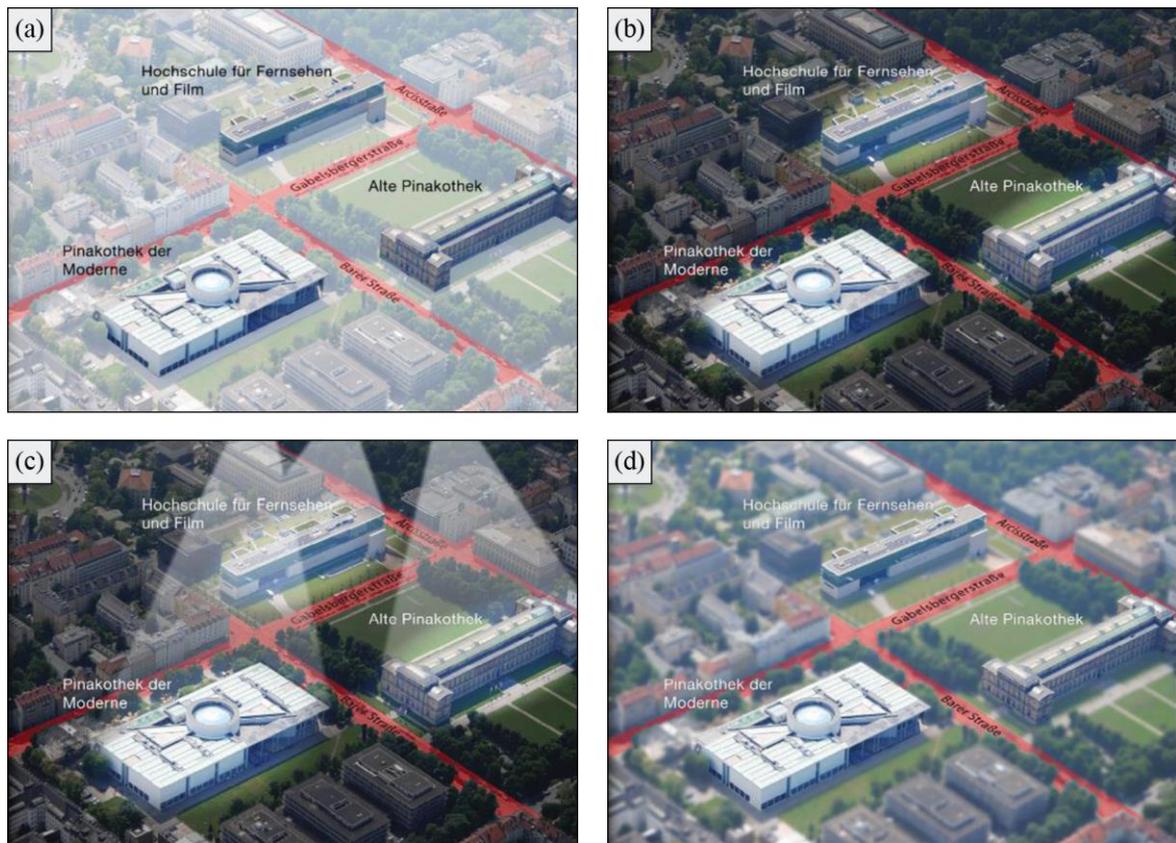


Fig. 6: Highlighting strategies for image map: (a) Selective brightening, (b) Spotlight, (c) Light Beam Guidance, and (d) Semantic Focusing [MENG et al., 2017].



Fig. 7: A map-based detective story exhibited in National Museum of Taiwan Literature [photographed by the author on 04.01.2018 in the museum].

starting point for users to anticipate future cities by seeing beyond what has happened and is happening. The vast amount of seamlessly geo-referenced data from high-end sensors and the incrementally incoming data streams from social media have brought about unprecedented opportunities for geodata scientists and cartographers to discover and visualize knowledge on what would happen and what should be done in order to make positive phenomena happen or prevent negative ones from happening.

Smarter maps shaping the future city are either predictive or prescriptive. Predictive maps typically show the results of computer simulations with known and random variables of urban processes based on periodically or continuously collected data such as traffic flows, weather conditions, CO₂ emissions, social events on criminality, demographic change, gentrification etc. Different variable settings of an analytical model may lead to, on the one hand, different interpolations that answer how urban processes evolve or get disrupted and, on the other hand, different extrapolations in form of “if-then” future scenarios. Predictive maps are required mainly for purposes of urban planning, early warning, advocacy advertising and many other decision supporting tasks. Their information may trigger the creation of prescriptive maps that show the rehearsal of alternative solutions to urban problems, thus answer the questions of how to get along with possible

new situations, how to instruct users to perform spatial tasks, and how to adjust map contents to satisfy users’ changing information needs etc. Prescriptive maps are sought after for post disaster rescue and reconstruction, urban resilience, autonomous driving and many other applications which require foresight and preventive measures. Figure 8 illustrates the predicted scenarios for crowd management during October Festival 2017. Figure 9 demonstrates four alternative scenarios “Trend”, “Grow the same”, “Do things differently” and “Grow differently” for online open house 2040 in Northeast Ohio, and their corresponding variable settings. Citizens are invited to leave comments on their likes and dislikes.

In the era of big data and citizen science, the research on predictive and prescriptive map services is undergoing rapid developments with the following visualization styles:

- **Mashups**

They are typically composed of user-generated geo-tags about hotspots or layers about selected topics superimposed on a base map which is either resulted from crowd sourcing, e.g. OpenStreetMap, or created by authoritative mapping agencies [MENG, 2017]. Mashups are frequently refreshed, though not professionally designed.

- **Dashboards**

As metaphors of instrumental panels revealing real-time operations of a mechanical or elec-

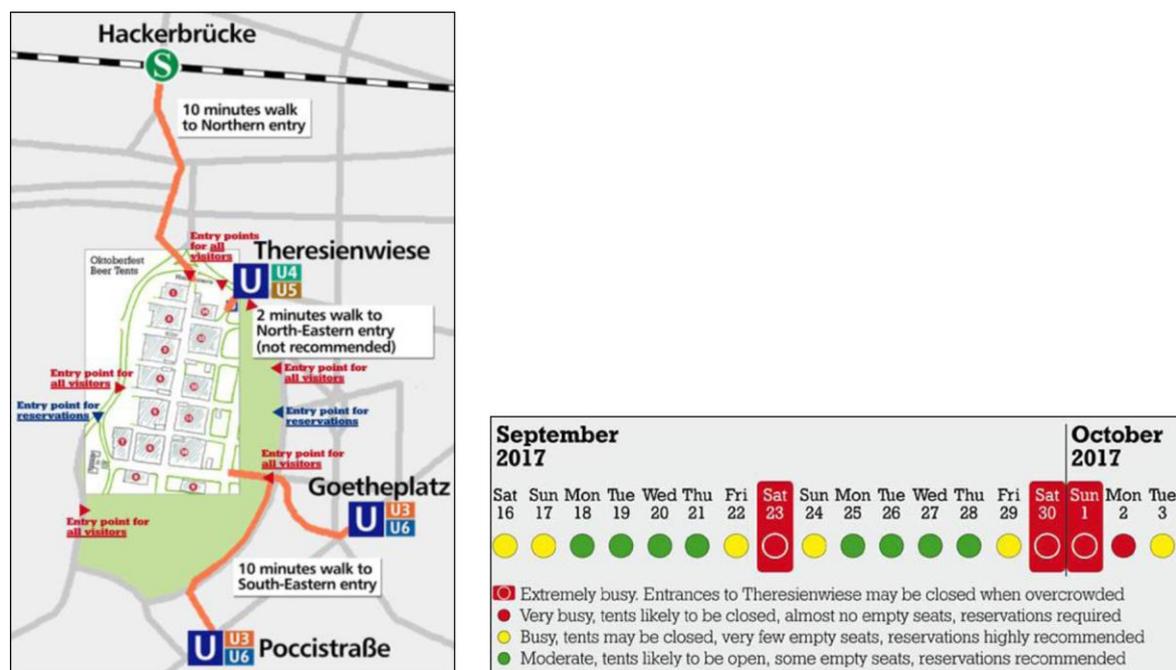
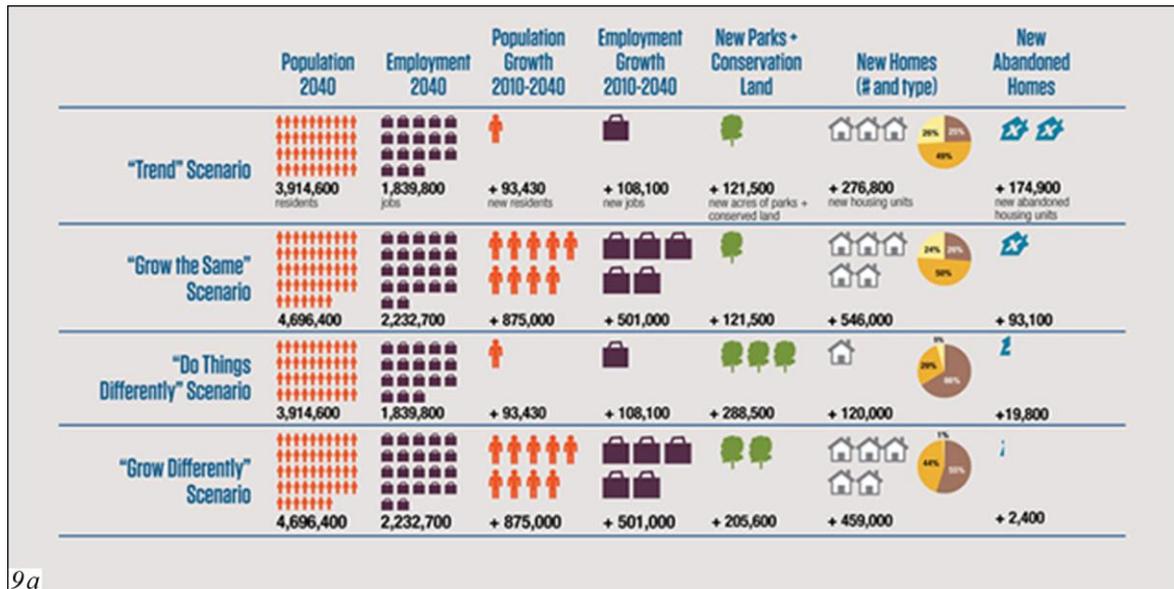
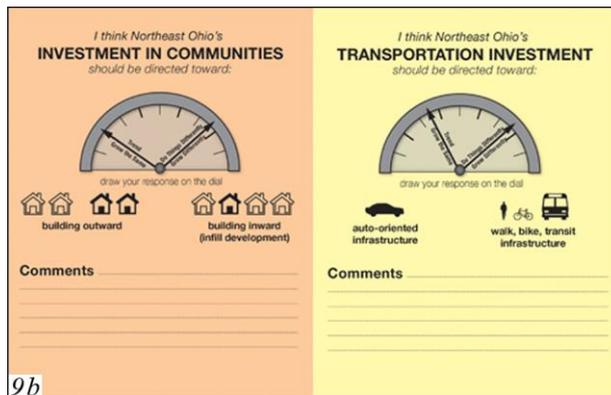


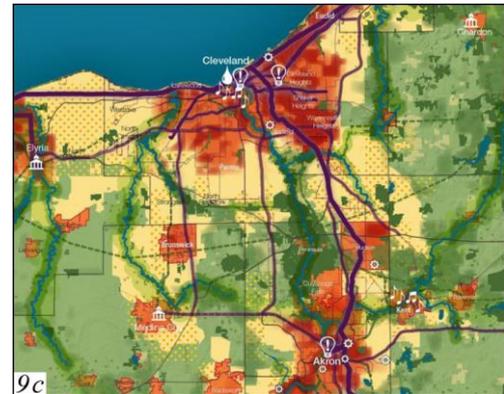
Fig. 8: A predictive scenario for the October Festival in Munich 2017 based on existing experiences of crowd management [www.oktoberfest.de – last access 10.09.2017].



9a



9b



9c

Fig. 9: A screenshot showing four alternative scenarios for a project of on-line open house 2040 in Northeast Ohio [NEOSCC, 2013 (9a,b); NEOSCC, 2014, sheet 54 (9c)].

tronic system, they use maps in combination with gauges, traffic light colors, bar charts and other visual artifacts to display consolidated and real-time urban information on a single screen [BATTY, 2015]. Dashboards are immediately understandable. Depending on target groups, dashboard may be linked to online data repositories and virtual operations to empower users with the dashboard elements [PETTIT et al., 2017]. An example of dashboard metaphor for a smart campus is given in figure 10.

- **Visual analytical platforms**

They are integrative systems with the aim to combine computing power with human vision for knowledge discovery. A large number of analytical functions are embedded in multiple interlinked maps and other spatial and non-spatial information visualization styles, allowing users to preview large datasets, inspect details in fo-

cus regions, compute correlations between different data items, explore potential causalities, interactively change parameter settings for computing tools and visualize the computing results etc. [DING, 2016] reported a case study of a visual analytical platform dedicated to discovering driver behavior from GPS-trajectories of 2000 taxis in Shanghai over a period of six weeks.

- **Map-based open visual storytelling**

They take structured design patterns and recipes for closed storytelling as the starting point and invite users at given spatiotemporal branching points to create their own narrative parts using their own evidences and reasoning strategies. In this sense, map-based open visual storytelling is “less about telling the viewer a story and more about letting the viewer discover the story. Moreover, the viewer can become a game

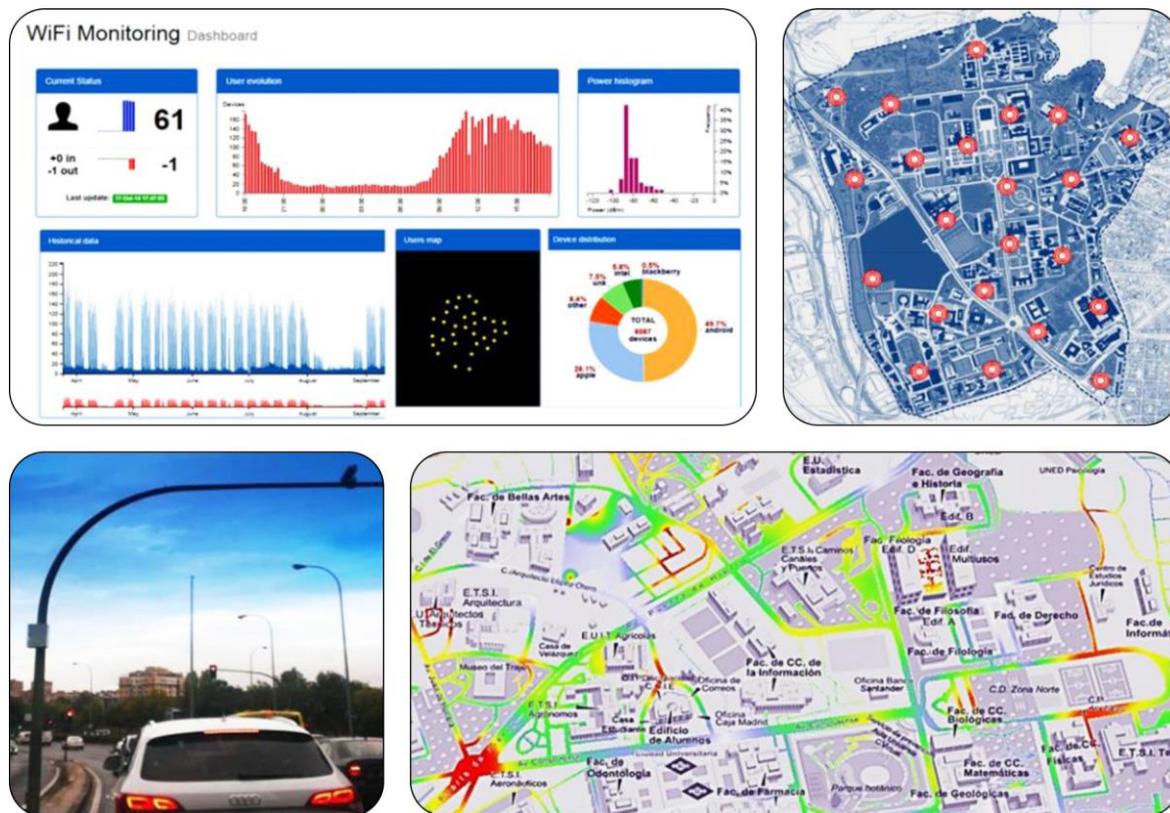


Fig. 10: A dashboard demonstrating the functionality of a smart campus [UPM, 2015].

changer for storytelling. Storytelling is also about figuring out how people solve problems.” [BUCHER, 2018, p. 7]. With continuously accumulated crowd intelligence and crowd emotion, open stories may improve our down-to-earth understanding of urban problems.

- Uncertainty visualization – Uncertainty is pervasive and inherent in the digitalization process for smart city and subsequent value-adding operations. Unlike the uncertainty modeling that is focused on computing and controlling the uncertainty values or bounds for individual variables, uncertainty visualization is based on neuroscientific research findings on human cognitions related to positive and negative uncertainty. They aim to externalize the uncertainty as a necessary part of urban information systems, and raise users’ confidence in getting along with rather than getting rid of uncertain situations for everyday decision-making tasks.

The above visualization styles are new not in terms of their design elements, but in their innovative compositions of existing design elements from thematic cartography, computer graphics, games engineering, filmmaking etc. Although predictive and prescriptive map services are flourishing and getting

smarter with the emergence of citizen science, their usability tests are largely lacking [KINKELDEY *et al.*, 2014]. New design theories and guidelines are required to live up to the newest technological developments and to justify cartography as science, technology and art of making and using maps.

4. Concluding remarks

Four categories of maps are currently serving smart cities. They provide descriptive, diagnostic, predictive or prescriptive information for different stakeholders and different tasks. Descriptive and diagnostic maps are reflectors of what has happened and is happening in urban environments. In spite of diversified design styles, they are treated as “the last mile” of an assembly line or a closed value-adding chain from data to visualization. On the contrary, predictive and prescriptive maps are precursors of future cities. They are incrementally created and refreshed in open platforms with active participation of users. Every “mile” in an open platform matters and has large societal impact on citizen science. It is necessary for cartographers to provide visual support as the “best mile” for any kind of smart city service ra-

ther than just the “last mile” at the end of a reasoning process.

References

- ACCUWEATHER (Ed.) [2017]:* Irma batters Florida with catastrophic storm surge, wind and rain. – Online Publication. <https://www.accuweather.com/en/weather-news/hurricane-irma-batters-florida-with-catastrophic-storm-surge-wind-and-rain/70002657> – last access: 10.09.2017
- BATTY, Michael [2015]:* A perspective on city dashboards. – In: *Regional Studies, Regional Science*, Vol. 2, Issue 1, pp. 29-32. ISSN: 2168-1376
- BERG (Ed.) [2005]:* Here & there, a horizonless projection in Manhattan. – Online Publication. <http://berglondon.com/products/hat/> – last access: 12.02.2018
- BUCHER, John [2018]:* *Storytelling for Virtual Reality. Methods and Principles for Crafting Immersive Narratives.* Routledge Taylor & Francis Group, New York/London, XI, 333 p. ISBN: 978-1-138-62965-3
- DING, Linfang [2016]:* *Visual Analysis of Large Floating Car Data – A Bridge-Maker between Thematic Mapping and Scientific Visualization.* Doctoral thesis at Chair of Cartography, Technical University Munich (TUM), XVI, 137 p.
- DURHAM COUNTY COUNCIL (Ed.) [2016]:* *Durham City Safety Group, Annual Update Report 2015/2016.* 16 S. <http://www.durham.gov.uk/media/20039/Durham-City-Safety-Group-Annual-Report-2015-16/pdf/DurhamCitySafetyGroupAnnualReport2015-16.pdf> – last access: 12.02.2018
- GLANDER, Tassilo / TRAPP, Matthias / DÖLLNER, Jürgen [2007]:* A Concept of Effective Landmark Depiction in Geovirtual 3D Environments by View-Dependent Deformation. – In: *MOK, Esmond / GARTNER, Georg (Eds.): Proceedings of the 4th International Symposium on Location Based Services & TeleCartography*, Hong Kong, 8-10 November 2007. Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 14 p. (CD).
- KIEFER, Peter / GIANNPOULOS, Ioannis / RAUBAL, Martin / DUCHOWSKI, Andrew T. [2017]:* Eye Tracking for Spatial Research: Cognition, Computation, Challenges. – In: *Spatial Cognition & Computation*, Vol. 17, Issue 1-2, pp. 1-19. ISSN: 1387-5868 (Print) ISSN: 1542-7633 (Online)
- KINKELDEY, Christoph / MAC EACHREN, Alan M. / SCHIEWE, Jochen [2014]:* How to Assess Visual Communication of Uncertainty? A Systematic Review of Geospatial Uncertainty Visualisation User Studies. – In: *The Cartographic Journal*, Vol. 51, Issue 4, pp. 372-386. ISSN: 0008-7041 (Print) ISSN: 1743-2774 (Online)
- LIU, Bing / DONG, Weihua / MENG, Liqiu [2017]:* Using Eye Tracking to Explore the Guidance and Constancy of Visual Variables in 3D Visualization. – In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 6, Issue 9, No. 274, 18 p. ISSN: 2220-9964
- MADHAVAN, Jayant / BALAKRISHNAN, Sreeram / BRISBIN, Kathryn / GONZALEZ, Hector / GUPTA, Nitin / HALEVY, Alon / JACQMIN-ADAMS, Karen / LAM, Heidi / LANGEN, Anno / LEE, Hon-grae / MCCHESENEY, Rod / SHAPLEY, Rebecca / SHEN, Warren [2012]:* Big Data Storytelling through Interactive Maps. – In: *IEEE Data Engineering Bulletin*, Vol. 35, No. 2, pp. 46-54. ISSN: 1053-1238
- MASSARO, Emanuele / AHN, Chaewon / SANTI, Paolo / RATTI, Carlo / STAHLMANN, Rainer / LAMPRECHT, Andreas / ROEHDER, Martin / HUBER, Markus [2017]:* The Car as an Ambient Sensing Platform. – In: *Advanced Technologies for Brain Research. Proceedings of the IEEE, Special Issue*, Vol. 105, Issue 1, pp. 3-7. ISSN: 0018-9219
- MENG, Liqiu [2017]:* The Constancy and Volatility in Cartography. – In: *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, Vol. 46, Issue 10, pp. 1637-1644. ISSN: 1001-1595
- MENG, Liqiu / MURPHY, Christian E. / DING, Linfang / YANG, Jian [2017]:* Ein Überblick über Forschungsaktivitäten zum Verständnis von Bildkartendesign. A Review of Research Works on VGI Understanding and Image Map Design. – In: *Kartographische Nachrichten (KN), Journal of Cartography and Geographic Information*, Vol. 2017, Issue 1, pp. 17-22. ISSN: 0022-9164
- MURPHY, Christian E. [2014]:* *Concise Image Maps – A Design Approach.* Doctoral thesis at Chair of Cartography, Technical University Munich (TUM), XII, 138 p.
- MVV (MÜNCHNER VERKEHRS- UND TARIFVERBUND) (Ed.) [2018]:* *Entire Network 2018.* – In: *Maps, Tarif Maps.* – Online Publication. https://www.mvv-muenchen.de/fileadmin/mediapool/03-Plaene_Bahnhoefe/Tarifplaene/TARIFPLAN_Gesamtnetz_2018.PDF – last access: 12.02.2018
- NEOSSC (= NORTHEAST OHIO SUSTAINABLE COMMUNITIES CONSORTIUM) (Ed.) [2013]:* *Vibrant NEO 2040.* – Online-Publication. <http://vibrantneo.org/openhouses/engage-online/> – last access: 13.02.2018
- NEOSSC (Ed.) [2014]:* *Vibrant NEO 2040, Vision, Framework and Action Products*, March 2014. http://vibrantneo.org/wp-content/uploads/2014/03/NEOSSC_Master-Presentation_031414.pptx – last access: 26.02.2018
- PETTIT, Christopher / LIESKE, Scott N. / JAMAL, Murad [2017]:* *City Dash: Visualising a Changing City Using Open Data.* – In: *GEERTMAN, Stan / ALLAN, Andrew / PETTIT, Christopher / STILLWELL, John (Eds.): Planning Support Science for Smarter Urban Futures. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C)*, Springer, pp. 337-353. ISBN: 978-3-319-57819-4
- POLOUS, Khatereh [2016]:* *Event Cartography – a New Perspective in Mapping.* Doctoral thesis at Chair of Cartography, Technical University Munich (TUM). Dr. Hut, München, 119 p. ISBN: 978-3-8439-2614-0
- PORTAL MÜNCHEN BETRIEBS-GMBH & Co. (Ed.) [2018]:* *Stadtplan München.* – Online Publication. <http://www.muenchen.de/stadtplan.html> – last access: 26.02.2018
- SCHÜTZ, Florian / MERATH, Boris (Ed.) [2017]:* *Schnellbahnnetz Oktober 2001.* – In: *Schnellbahnnetz von 1972 bis heute.* – Online Publication. <https://www.u-bahn-muenchen.de/bild/sehrgross/schnellbahn2001okt.jpg> – last access: 12.02.2018

UPM (= *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID*) (Ed.) [2015]:
Smart City Platform at Madrid – Moncloa University Cam-
pus. – Online Publication.
[http://blogs.upm.es/cityofthefuture-upm/smart-city-platform-
at-madrid-moncloa-university-campus/](http://blogs.upm.es/cityofthefuture-upm/smart-city-platform-at-madrid-moncloa-university-campus/) –
last access: 13.02.2018

Address of the author:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. LIQIU MENG
Technical University Munich (TUM)
Chair of Cartography
Arcisstraße 21
D-80333 München
E-Mail: meng@bv.tum.de

Cross Country Movement Solution in the Army of the Czech Republic

Summary

Manoeuvre in a terrain is one of fundamental tactical activities. Good knowledge about geographic conditions of surrounding area and current meteorological conditions can carry advantage during decision-making process of commanders. Reliable geospatial information enables supporting a quality of such processes. Geographic information systems allow modelling of an influence of the individual terrain components on movement of military vehicles depending on their technical and tactical characteristics. The Department of Military Geography and Meteorology at the University of Defence in Brno is focusing its research to this domain. The paper deals with verification of complex models of the Cross-Country Movement that were created using standard digital geographic data for typical vehicles being used in the Czech Army.

Keywords: Geography, Meteorology, GIS (Geographic Information System), CCM (Cross-Country Movement), Modelling and Simulation, Off-road vehicle

Zusammenfassung

Manöver im Gelände gehören zu den grundlegenden taktischen Aktivitäten. Hierbei können gute Kenntnisse der geographischen Verhältnisse der Umgebung und der aktuellen meteorologischen Lage bei der Entscheidungsfindung der Befehlshaber von Vorteil sein. Zuverlässige Geoinformationen leisten dabei wertvolle Unterstützung. Geographische Informationssysteme ermöglichen die Modellierung des Einflusses der einzelnen Geländekomponenten auf die Bewegung militärischer Fahrzeuge in Abhängigkeit von ihren technischen und taktischen Eigenschaften. Das Department of Military Geography and Meteorology an der University of Defence in Brunn fokussiert seine Forschung auf diesen Bereich. Diese Arbeit befasst sich mit der Verifizierung komplexer Modelle für Bewegungen im Gelände, die mit standardisierten digitalen geographischen Daten für typische, in der tschechischen Armee verwendete Fahrzeuge erstellt wurden.

Schlüsselwörter: Geographie, Meteorologie, GIS (Geographisches Informationssystem), CCM (Cross-Country Movement), Bewegung im Gelände, Modellierung und Simulation, Geländefahrzeuge

1. Introduction

The present theory of using weapons and weapon systems assumes applying computer models of their behaviour in the terrain. Two basic conditions are necessary to consider – the technical parameters of the weapons and weapon systems that are important because of their behaviour in the terrain on the one hand, and the content, properties and quality of digital spatial data describing the terrain on the other hand.

If both conditions are fulfilled, it is possible to derive the physical models of the behaviour of weapons and weapon systems in a terrain. *RYBANSKÝ [2009]*, *JAYAKUMAR/DASCH [2017]* or “*STANAG 2999*” [*NATO, 2012*] could be mentioned as the examples of such physical models. Physical models usually determine conditions of the terrain in which the vehicles, weapons or weapon system can be used, or, where appropriate, to set limits for these conditions. The conditions laid down then represent the basis for the applications in a computer environment and it is possible to create computer models, often

in a form of spatial analysis [*RYBANSKÝ, 2007*]. The spatial analyses form a part of most of present Command and Control Systems (C2S) in which they support the decision-making processes. When limits of physical models' evaluation are not considered, the final results of spatial analyses are influenced by content, precision and quality of digital spatial data used in the given model. There are two different views on digital features and their properties – with or without consideration data quality and mainly their certainty or uncertainty. If uncertainty of feature properties is not considered in spatial analyses, the final results can be a bit out of reality and using them in decision-making process may cause difficulties in the future. To decrease the possibility of a wrong decision, the uncertainty of digital features must be taken into account. Application of fuzzy logic in spatial analyses is one possible and quite frequent way and it is possible to find many examples of using general fuzzy logic [*ZADEH, 1965; AHMED/KHARAL, 2009; SUNILA/HORTTANAINEN, 2004*], or its application in decision-making processes [*DI*

MARTINO/SESSA, 2011; D'AMICO *et al.*, 2013; RYBANSKÝ, 2014; SVATOŇOVÁ/RYBANSKÝ, 2014; TALHOFER *et al.*, 2012].

However, it is necessary to verify thoroughly the quality of physical models, data, mathematical models, and their computer realization in practice. Only detailed verification will enable to obtain usable models suitable for implementation in the Command and Control Systems (C2S).

The following text presents the current status of development and verification of the Cross-Country Movement (CCM) model being developed at the Department of Military Geography and Meteorology of the University of Defence.

2. Behaviour of military vehicles in a terrain

Driving characteristics of every vehicle are defined by a variety of technical parameters. The fundamental parameters are the following:

- vehicle dimensions;
- performance characteristics of the engine;
- type of chassis (tracks, wheels);
- number and type of tyres;
- rate of climb, trench crossing, approach angle, inclination and side inclination etc.

Technical characteristics of the vehicles would become evident in a real use, i.e. at specific geographic and meteorological conditions [MASON *et al.*, 2012; SHOOP *et al.*, 2013; JAYAKUMAR/DASCH, 2017]. Behaviour of military and rescue vehicles in a terrain has been investigated at the departments of the Faculty of Military Technology for several years. Based on detailed measurements and observations of partial geographic and meteorological conditions and study of a complex behaviour of the vehicles within particular conditions, both the physical and mathematical models of vehicle movement in the terrain were derived. Both models have been particularized for more than 15 years and their details can be found in many papers, such as COLLINS [1998], RYBANSKÝ/VALA [2009], DEJMAL *et al.* [2011]. The following text presents only significant results.

2.1 Physical model – Influence of terrain and weather conditions on the vehicle movement

There are many factors of geographic conditions of landscape having any impact on a vehicle movement. The whole description of their complex impact on movement in some physical model is very

complicated because of interdependencies of separate factors. One possible way is to describe the movement using level of deceleration given by influence of individual factors. According to RYBANSKÝ [2009], the influence of a landscape entering creation of the model of a vehicle movement can be expressed using the following main coefficients of deceleration (Table 1).

These coefficients are thereafter indexed and classified into particular discrete factors. The individual deceleration coefficients $C_1 - C_7$ can be computed as the products of particular coefficients within each group. The overall coefficient C is a product of these coefficients while it ranges from 0 to 1. It can be therefore stated, that resulting speed of the vehicle movement is a function of all the deceleration coefficients:

$$v = f(v_{max}, C_1, C_2, \dots, C_7) \quad [1]$$

Function [1] depends on many factors, which are expressed total of 27 variables. However, it is not precisely defined in advance which variables are dependent and which are independent. Therefore, the final determination of the function [1] depends on the verification of the individual coefficients in the field tests with the given vehicles and under the given conditions.

Table 1: Main coefficients of deceleration.

Basic coefficient	Geographic signification and impact
C_1	Terrain relief (gradient of terrain relief and microrelief shapes)
C_2	Vegetation cover
C_3	Soils and soil cover
C_4	Weather and climate
C_5	Hydrology
C_6	Build-up area
C_7	Road network

2.2 Mathematical and information models of a passability modelling

For the purposes of modelling the possibility of vehicle movement the geodatabases depicting relief in a detail, i.e. the digital elevation models, combined with detailed landscape models are of the greatest use. Such databases within the Army of the Czech Republic are produced and distributed by the Military Geographic and Hydrometeorological Office. The basic landscape model is represented by the DMU25 database. It contains data covering the territory of the Czech Republic and its vicinity with a

detail and location precision of the topographic maps at scale of 1 : 25,000 [MOD-GEOS, 2010]. For coding geographic features, the DFDD (DGIWG Feature Data Dictionary) is used, although together with certain national modifications [DGIWG, 2013]. Due to detail and attribute richness and its regular updating, the DMU25 database is suitable for modelling. As the territory of the Czech Republic is covered with several digital elevation models, the elevation model was represented by one of them in individual tasks. Digital elevation models differ from each other mainly by the time of creating, technology of data collection, and therefore by their precision. The newest elevation models are based on airborne laser scanning which was finished in the end of 2013 [BRÁZDIL, 2009]. The first of them, the DMR4, contains the elevation points in a regular grid of 5 × 5 m, the second DMR5 is represented by the TIN (Triangulated Irregular Network). The full coverage of Czech Republic territory was done in 2014 (DMR4) and 2016 (DMR5). Due to the amount of data that the previously mentioned models contain, the DMR3 model that is less accurate (i.e. resolution of 10 by 10 m) can be used. This model was created by using stereophotogrammetric method.

Data from local organizations (in the case of joint exercises or joint events) or data from joint programs, such as Multinational Geospatial Co-production Program [IGW, 2012], can be used for geographic support of units during foreign missions. If not available digital elevation data with higher precision, the elevation data from the project Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) [JPL, 2005] are suitable. To assess the influence of the soils, the synthetic soil database (SSD) was used. The database contains polygons of soil types having the same characteristics and it covers the whole territory of the Czech Republic [RYBANSKÝ, 2015].

The methodology for determining the possibility of movement of a vehicle depends on the individual geographic factors expressed in the function of all the deceleration coefficients. Each of these factors contributes to the deceleration of vehicle speed relatively to the maximum speed that a vehicle can reach on the road or in a homogeneous environment. The resulting speed of a vehicle in the terrain can be determined by the individual decelerating factors, as part of the particular set of the above-mentioned geographic features.

Specific degree of CCM determination on a given part of the terrain can be expressed as a complex function in which all impacts of individual geographic factors are evaluated as the coefficients of deceleration C_i and expressed as a number from the interval of 0 to 1. If there is the assumption that the route of vehicle movement, including direct segment,

consists of various sub-sections, in which an impact of geographic factors are unchanged, the final degree of CCM can be determined as a cost of a given segment.

For a given vehicle (i.e. its technical properties), the values of deceleration coefficients are calculated from ascertained properties of geographic objects stored in the spatial geodatabase.

The final speed of given vehicle is evaluated according to the function of all the deceleration coefficients. Particular obstacles are compared with the given vehicle properties in a pixel. The size of pixel in given raster set can be modified according to expected precision of speed calculation or used data sources. Total of 27 raster layers can be created for each particular coefficient C_{ij} where the value of a given pixel is the “cost” of the pixel – that is the reclassified value of coefficient to the range of 0 to 1 [RYBANSKÝ *et al.*, 2015].

The final cost map is created using map algebra from a combination of all particular layers. The cost map can be used as a source the possibility of movement determination or for calculation of the shortest, fastest, cheapest or safest paths.

When computing the individual coefficients and then the whole cost map, it is necessary to consider the level of data quality, mainly accuracy and data uncertainty. The basic values of the data quality used for calculating the deceleration coefficients are given in the following tables. Object geometry DMU25 records the position of objects in two basic groups of accuracy – 5 and 15, which corresponds to declared precision with a mean positional error of 5 m and 15 m. However, this general declaration is refined by ACC code, which informs about the actual quality of the horizontal delimitation (Table 2).

The elevation models are characterized by the mean errors of elevation parameters which are shown in table 3.

If precision, uncertainty, vagueness and similar properties are not taken into account in the calculations of cost map, it is denoted as crisp set analysis. The final result of crisp set analysis is easily understandable but the great disadvantage of such analysis is that the user has no information about the properties of features entering calculations.

While determination of feature borders can be different (e.g. the footprint of building can be defined in resolution of several centimetres, the border between two types of soil is defined in resolution of approximately 100 meters), therefore it is necessary to include other parameters in the calculation. One possible approach is application of a fuzzy logic [KAINZ, 2007], which was used in this case study [HOFMANN *et al.*, 2013]. In Fig. 1 there is an example of resulting cost map for C_1 coefficient in which the degree of movement possibility is given

Table 2: Table of attributes of objects and their values – part MOD-GEOS [2010].

Code	Name	List of Values	Notes
ACC	Quality of the horizontal definition	001 accurate	Suits the product criterion
		002 approximate	Exceeds product tolerance
		003 uncertain	Location is estimated
		007 precise	Position more accurate than product requires

Table 3: The accuracy characteristics of the used elevation models [MOD-GEOS, 2010].

Elevation model	Structure	Mean error of elevations		
		Open terrain	Settlements	Forests
SRTM	regular point network 3" x 3"	16 m	16 m	16 m
DMR3	regular point network 10 m x 10 m	1-2 m	1-2 m	3-7 m
DMR4	regular point network 5 m x 5 m	0,3 m	not specified	1 m
DMR5	TIN	0,18 m	not specified	0,3 m

by color from green (passable terrain) to red (impassable terrain). ArcGIS 10.2 was used for cost map evaluation [ESRI, 2013].

The final deceleration coefficient is calculated from the individual files with the help of the Fuzzy Overlay tool. The first five coefficients enter the calculation with the help of relation

$$\max \{C_1, C_2, C_3, C_5, C_6\}. \quad [2]$$

The resulting value is multiplied by a raster of coefficient C_7 by reason of assigning meaning of the individual communications according to traffic importance (highways, 1st class roads, forest roads, etc.). The result is the cost map that can be an input for

searching of an optimal route in a decision-making process in CCM (Fig. 2).

3. Verification of data and model quality

In order to be able to evaluate the complex models of vehicle movement, it is necessary to verify them directly in the field. The purpose of model verification is to verify the behaviour of the entire model in the real environment in which the units are located or can be located. The following text is a brief meth-

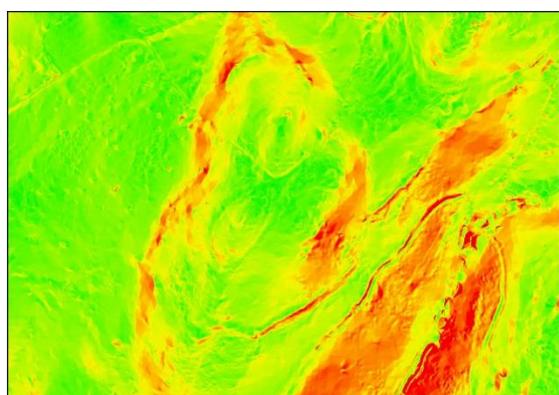


Fig. 1: Part of the cost map for C_1 coefficient of Tatra T815. Degree of movement possibility is given by color from green (passable terrain) to red (impassable terrain).

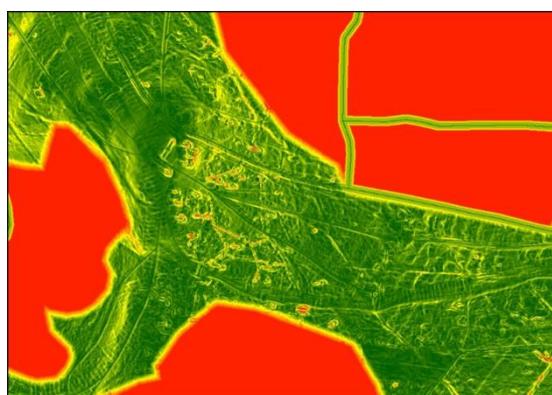


Fig. 2: Part of the cost map calculated for Tatra T815. Degree of movement possibility is given by color from green (passable terrain) to red (impassable terrain).

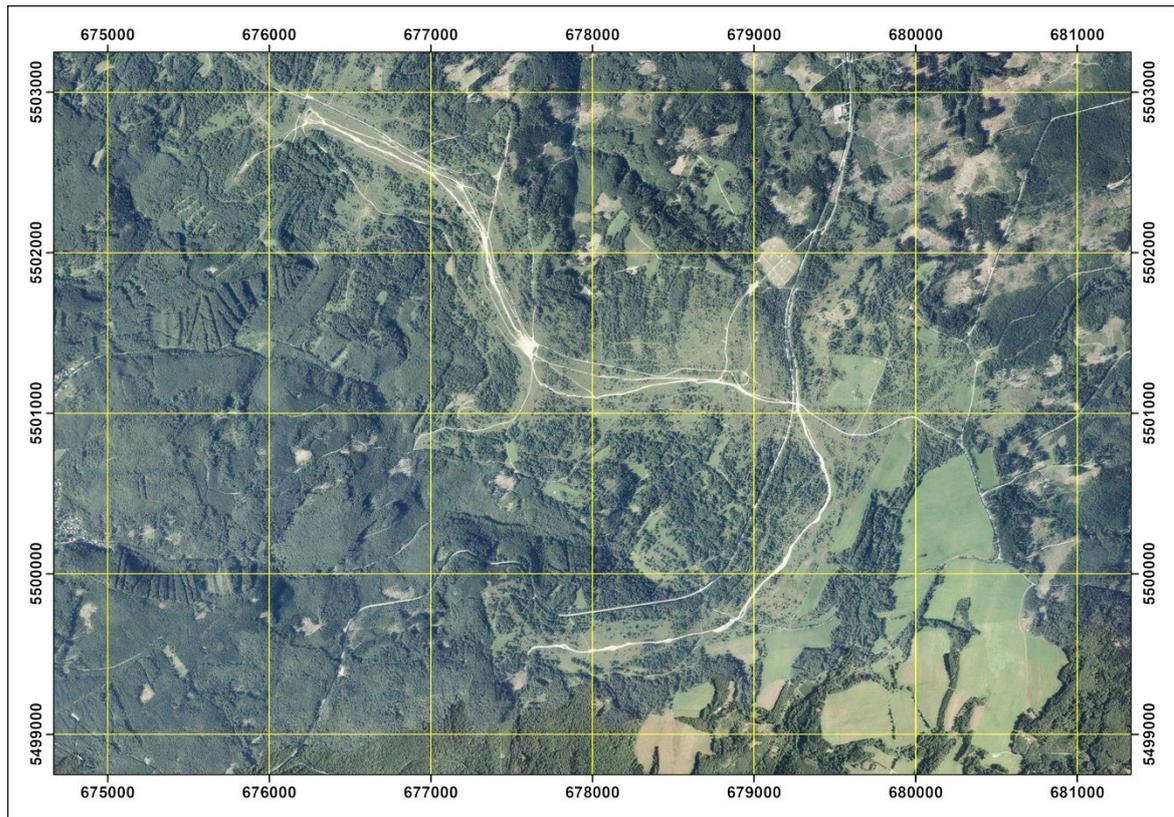


Fig. 3: Testing area in Oderské vrchy (used background data from ČÚZK [2015]).

odology for verifying the model using the data from tests in 2015 and 2017 from the Oderské vrchy area, where the Military Training Area Libava is located (Fig. 3).

The main objective of the tests was to determine to what extent the results of modelling using the above-mentioned physical, mathematical and information models are usable in real decision-making processes during the preparation and management of actions. The basic objective was complemented by several side goals to specify partial coefficients of the general capabilities of drivers and their ability to ride under difficult conditions at night with the use of lights and night vision devices, and to specify the coefficient of meteorological conditions. The objective was also to check the quality of background geographic data using independent field measurements. Different types of military vehicle (fighting or transport) were used for those tests. In the following text there is short description of the tests methodology on the transport vehicle Tatra T815 example.

3.1 Preparation phase

In the part of the tests focused on preparation, the cost maps of the given space for the vehicle T815

were calculated. Used basic technical characteristics of T815 are in the table 4.

To determine the effect of the parameters of different data, especially elevations, their various combinations were used and are listed in table 5.

Table 4: Selected technical data T815.

Length	8,95 m
Width	2,50 m
Height	3,95 m
Weight	25,700 kg
Max. climbing ability	29°
Crossing ability – trench width	0,9 m
Max. speed on the road	85 km/h

Table 5: Combination of used data.

Data combination code	Used data
KSRTM*	DMU25 + SRTM
K3	DMU25 + DMR3 + UDP
K4	DMU25 + DMR4 + UDP
K5	DMU25 + DMR5 + UDP

* Note: This combination was used only to evaluate the impact of the terrain.

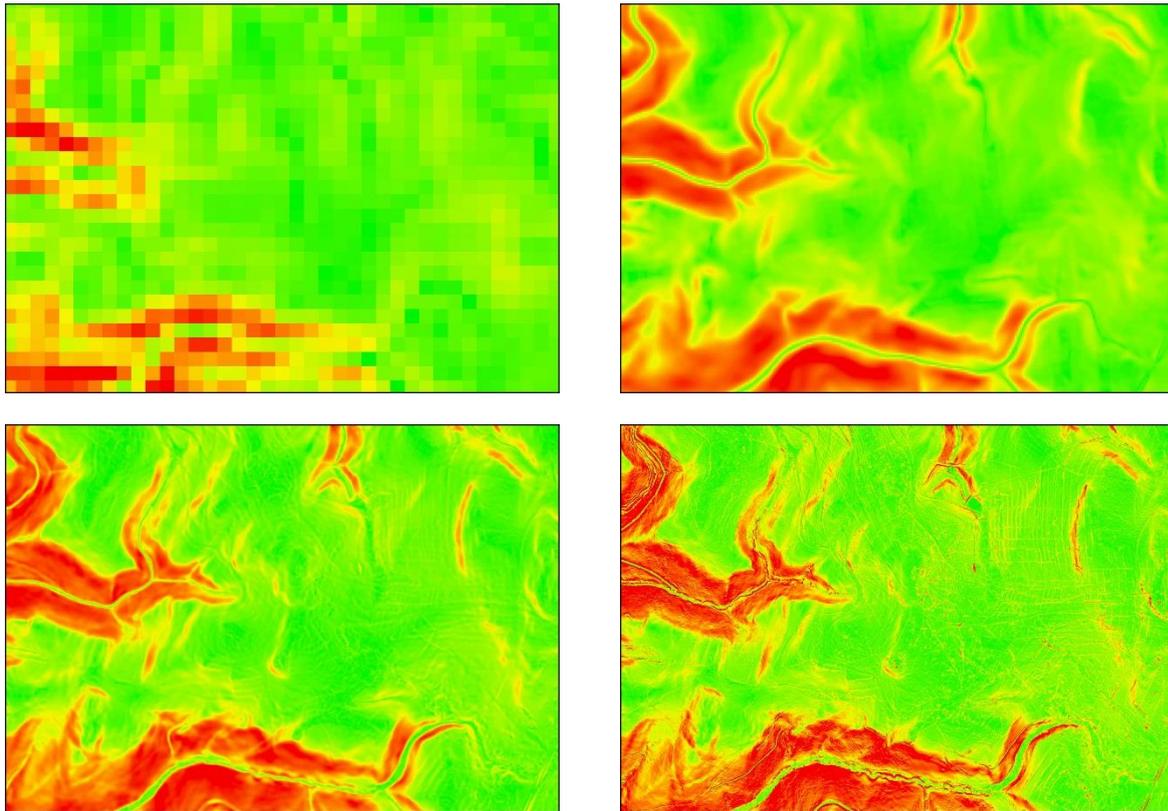


Fig. 4: Cost maps for T815 from data combinations of KSRTM (upper left), K3 (upper right), K4 (lower left) and K5 (lower right).

Figure 4 shows cost maps in each combination of data.

3.2 Field tests and analysis of measured data

In the test area at sites with typical soil species, soil samples were taken to verify the soil database. In laboratory conditions, the actual composition and moisture content of these samples were analysed. Also, during the tests, instant meteorological elements – temperature, air pressure and humidity, precipitation, direction and speed of wind, visibility and light intensity – were measured.

During the test, the vehicle passed the specified direction several times at different times of the day and with the general adherence to the set route. The actually travelled routes were recorded by the GPS receiver in spot mode with a time interval of 1 second. Three Trimble GPS receivers with an external antenna – Geoplotter XT, XT3000 and XT6000 equipped with TerraSync software – were used for recording. The measured data was later corrected in post-processing using the network of permanent CZEPOS reference stations and PathFinder software.

From corrected GPS data were obtained discrete points of travelled routes where each point was

given instantaneous values of their coordinates in WGS84/UTM, UTC time, travelled distance, horizontal speed and speed on the physical surface. These points were transformed into raster format with a pixel size 1 x 1 meter with a horizontal speed pixel value.

Using map algebra, the differences between the model and real speed of a given vehicle in a given combination of data (in a given cost map) were determined. To display the spatial composition of velocity deviations, it is possible to use the deviation graph with the terrain relief profile displayed. As an example, the route of the T815 was chosen, ranged both on the paved road and the open terrain covered with sparse bushes. The length of the route was 5.7 km. The route can be seen in figure 5.

To understand the causes of differences, it is necessary to examine their statistical layout, which is shown in figure 6.

The distribution of deviations shows two distinct local extrema. To identify the causes of the local extremes, an analysis of the areas in which deviations reach typical values was performed. The following figure shows the sections where the vehicle travelled through open terrain (Fig. 7).

The distribution of the deviations frequency between the model and the actual speed in these sec-



Fig. 5: Recorded route of the vehicle T815 (background orthophoto: ČÚZK [2015]).

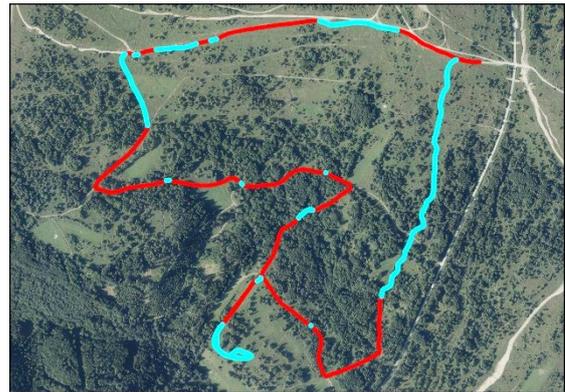


Fig. 7: Part of the route of the vehicle T815 with different surface – paved road (red points), open terrain with sparse scrubs (blue points) (background orthophoto: ČÚZK [2015]).

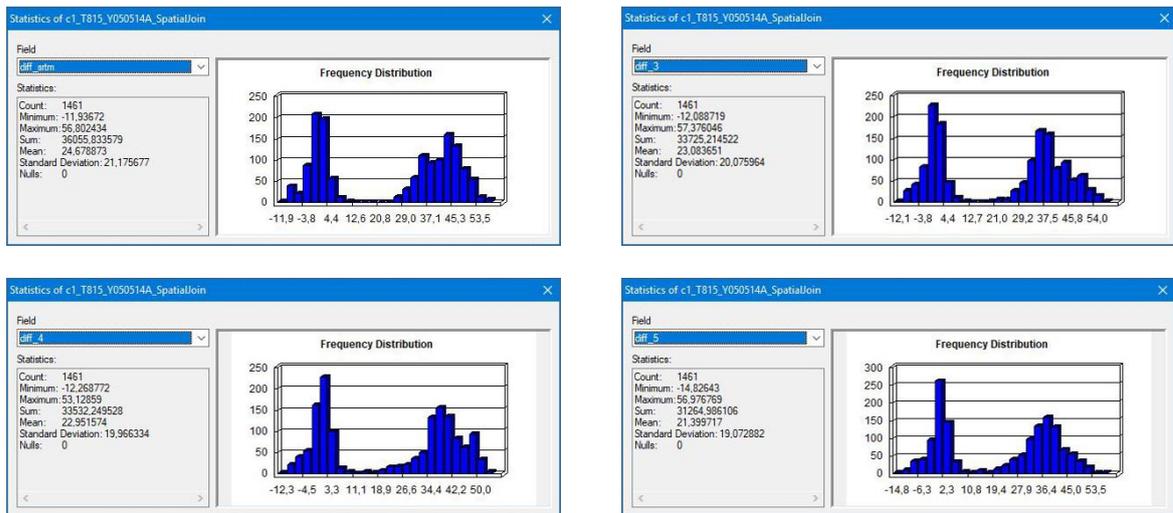


Fig. 6: Histograms of differences between modelled and real speed (T815, 5.5.2015, VUj Libava, data combinations of KSRTM (upper left), K3 (upper right), K4 (lower left) a K5 (lower right)).

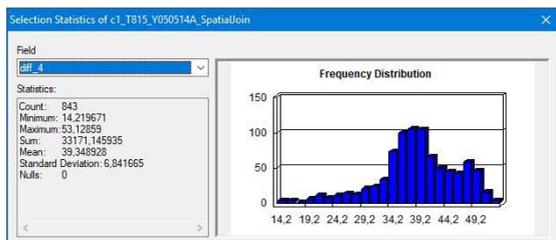


Fig. 8: Histogram of differences between model and actual speed on paved roads (T815, combination of K4 data).

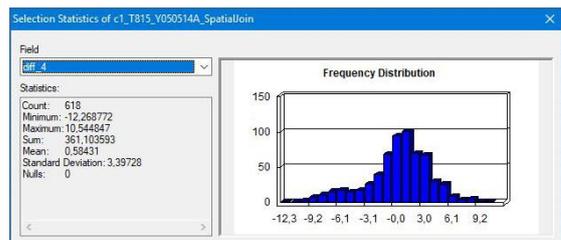


Fig. 9: Histogram of differences between model and actual speed in open terrain (T815, combination of K4 data).

tions in the K4 data combination is evident from the graphs in figure 8 and figure 9.

Similar layouts are also present for the remaining data combinations and remaining vehicles. The layout shows a relatively high degree of accordance of open terrain coefficients, but for paved communications the coefficients need to be refined.

To refine the coefficients of road deceleration, a lot of new measurements were done in 2017. The research team have about 8,500 km recorded tracks of different vehicles that are currently being evaluated.

4. Discussion

The presented part of the terrain trafficability model showed a methodical approach for its further solution. In the future, it will be necessary to thoroughly verify other factors based on ongoing field measurements and complex verification tests. Just as the work on data analysis and the search for connections between the various effects on the movement of vehicles in the field will continue.

At present, the solution of this model is part of the development project at the University of Defence, where fundamental theoretical works take place and regular measurements of the characteristics of the natural environment, both physical and socio-economic, as well as atmospheric characteristics are conducted.

In 2018, the implementation of a pilot executable version of the model limited to modelling the influence of the terrain relief with the option of a type of technique is assumed. The pilot version will be created as a web service available to workers who solve the problem of deploying units in the field. Based on experience with the pilot version and the progress of the complex model verification, the model will be ready for operational deployment.

Due to the addition of units to new or upgraded types of terrain vehicles, it will be necessary to add these vehicles into the model and conducted verification.

The model of the terrain trafficability has been complexly created at the University of Defence mainly for usage in armed forces. Although the project is not completed yet, its results shows its potential for the short future usage in command and control systems in the army. Since the model is working with technical parameters of vehicles, the change of armed vehicles to civilian ones could be relatively simple and therefore the assumption, that the model could be applied also to civilian usage (fire brigades, rescue service etc.), is real. Especially for their off-road vehicles.

References

- AHMED, Bashir / KHARAL, Athar [2009]: FuzzySets, FuzzyS-OpenandS-Closed Mappings. – In: *Advances in Fuzzy Systems*, Vol. 2009, 5 p.
<https://www.hindawi.com/journals/afs/2009/303042/> – last access: 18.01.2018
- BRÁZDIL, Karel [2009]: Realizační projekt zpracování výškopisných dat (in Czech). Internal report. Zeměměřický úřad, Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř), Dobruška.
- COLLINS, John M. [1998]: *Military Geography for Professional and the Public*. 1st ed., Brassey's, Dulles, VA, USA, XXIV, 437 p.
 ISBN: 1-57488-180-9
- ČÚZK (= ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ) (Ed.) [2015]: Prohlížeč služba WMS – Ortofoto.
http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx? – last access: 19.01.2018
- D'AMICO, Pietro / DI MARTINO, Ferdinando / SESSA, Salvatore [2013]: A GIS as a Decision Support System for Planning Sustainable Mobility in a Case-Study. – In: *VENTRE, Aldo G. S. / MATURO, Antonio / HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka / KACPRZYK, Janusz (Eds.): Multicriteria and Multiagent Decision Making with Applications to Economics and Social Sciences. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Vol. 305. Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 115-128.
 ISBN: 978-3-642-35634-6 (Hardcover)
 ISBN: 978-3-642-43824-0 (Softcover)
 ISBN: 978-3-642-35635-3 (e-Book)
 ISSN: 1434-9922
- DEJMAL, Karel / HOFMANN, Alois / TALHOFER, Václav [2011]: Use of meteorological information in cross-country movement. – In: *Proceedings of the ICMT 11 - International Conference on Military Technologies*. Brno, University of Defence, 2011, pp. 1281-1288.
 ISBN: 978-80-7231-787-5
- DGIWG (= Defence Geospatial Information Working Group) (Ed.) [2013]: *Implementation Guide to the DGIWG Feature Data Dictionary (DFDD)*. Edition 2.2.9. DGIWG-500, 35 p.
https://portal.dgiwg.org/files/?artifact_id=7148&format=pdf – last access: 19.01.2018
- DI MARTINO, Ferdinando / SESSA, Salvatore [2011]: Spatial Analysis and Fuzzy Relation Equations. – In: *Advances in Fuzzy Systems*, Vol. 2011, 14 p.
<https://www.hindawi.com/journals/afs/2011/429498/> – last access: 18.01.2018
- ESRI (= ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Ed.) [2013]: *ArcGIS Help 10.2*.
<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/> – last access: 19.01.2018
- HOFMANN, Alois / HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka / TALHOFER, Václav [2013]: Usage of Fuzzy Spatial Theory for Modelling of Terrain Passability. – In: *Advances in Fuzzy Systems*, Vol. 2013, 7 p.
<https://www.hindawi.com/journals/afs/2013/506406/> – last access: 19.01.2018
- IGW (= INTERNATIONAL GEOSPATIAL WAREHOUSE) (Ed.) [2012]: *Multinational Geospatial Co-production Program (MGCP)*. Retrieved 11 2016 from IGW-MGCP.
<https://www.mgcp.ws/web/guest> – last access: 19.01.2018
- JAYAKUMAR, Paramsothy / DASCH, Jean [2017]: *The Next Generation NATO Reference Mobility Model Development*. –

- In: *NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION (NATO) / SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION (STO) (Eds.): Integrated Virtual NATO Vehicle Development. STO-MP-AVT-265*, pp. 11-1 – 11-22.
 ISBN: 978-92-837-2110-9
<https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/STO-MP-AVT-265/MP-AVT-265-11.pdf> – last access: 18.01.2018
- JPL (= JET PROPULSION LABORATORY) (Ed.) [2015]: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Retrieved from NASA - JPL. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> – last access: 19.01.2018
- KAINZ, Wolfgang [2007]: Fuzzy Logic and GIS*. – Online-Publication.
https://www.researchgate.net/publication/266466993_Fuzzy_logic_and_GIS – last access: 19.01.2018
- MASON, George L. / GATES, Burhman Q. / MOORE, Victoria D. [2012]: Determining forces required to override obstacles for ground vehicles*. – In: *Journal of Terramechanics*, Vol. 49, Issues 3-4, pp. 191-196.
 ISSN: 0022-4898
- MOD-GEOS (= MINISTRY OF DEFENCE, GEOGRAPHIC SERVICE) (Ed.) [2010]: Catalogue of the Topographic Objects DMU25. Edition 7.3*. Ministry of Defence of the Czech Republic, Geographic Service, Dobruška.
- NATO (= NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION) (Ed.) [2012]: STANAG 2999: Use of Helicopters in Land Operations Doctrine*. 9th edition. NATO Standardization Agency (MAS), Brussels, 6 p.
- RYBANSKÝ, Marian [2007]: Effect of the Geographic Factors on the Cross Country Movement during Military Operations and the Natural Disasters*. – In: *ICMT'07, International Conference on Military Technologies 2007*, in frame of attendant scientific program of CATE 2007 (Community - Army - Technology - Environment) and International Exhibition IDET 2007, 2-4 May 2007, Brno, Czech Republic. University of Defence, Brno, pp. 590-596.
- International Conference on Military Technologies (pp. 590-596). Brno: University of Defence.
- RYBANSKÝ, Marian [2009]: Cross-Country Movement – The Impact and Evaluation of Geographic Factors*. 1st edition. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 113 p.
- RYBANSKÝ, Marian [2014]: Modelling of the optimal vehicle route in terrain in emergency situations using GIS data*. – In: *8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8)*, 26-29 August 2013, Kuching, Sarawak, Malaysia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 18, 6 p.
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/18/1/012131/pdf> – last access: 18.01.2018
- RYBANSKÝ, Marian [2015]: Soil Trafficability Analysis*. – In: *KRIVÁNEK, Václav (Ed.): ICMT2015, International Conference on Military Technologies 2015*. University of Defence, Brno, pp. 295-299.
 ISBN: 978-80-7231-976-3
- RYBANSKÝ, Marian / HOFMANN, Alois / HUBÁČEK, Martin / KOVARIK, Vladimír / TALHOFFER, Václav [2015]: Modelling of cross-country transport in raster format*. – In: *LIN, Hui / CHEN, Min / CHEN, Cui (Eds.): Developing Dynamic VGEs for Geographic Research*. Environmental Earth Sciences, Vol. 74, Issue 10, pp. 7049-7058.
 ISSN: 1866-6280 (Print)
 ISSN: 1866-6299 (Online)
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12665-015-4759-y.pdf> – last access: 19.01.2018
- RYBANSKÝ, Marian / VALA, Miroslav [2009]: Analysis of relief impact on transport during crisis situations*. Moravian Geographical Reports, Vol. 17, Issue 3, pp. 19-26.
 ISSN: 1210-8812
- RYBANSKÝ, Marian / VALA, Miroslav [2010]: Relief impact on transport*. – In: *ICMT'09, International Conference on Military Technologies 2009*, in frame of accompanying scientific program of CATE 2009 (Community - Army - Technology - Environment) and International Exhibition IDET 2009, Brno, Czech Republic, 5-6 May 2009. University of Defence, Brno, pp. 551-559.
- SHOOP, Sally / KNUTH, Margaret / WIEDER, Wendy [2013]: Measuring vehicle impacts on snow roads*. – In: *Journal of Terramechanics*, Vol. 50, Issue 1, pp. 63-71.
 ISSN: 0022-4898
- SUNILA, Rangima / HORTTAINEN, Pekka [2004]: Fuzzy Model for Soil Polygons for Managing the Imprecision*. – In: *PILZ, Jürgen (Ed.): Interfacing Geostatistics and GIS*. Springer, Berlin/Heidelberg, pp. 153-160.
 ISBN: 978-3-540-33235-0
 e-ISBN: 978-3-540-33236-7
- SVATOŇOVÁ, Hana / RYBANSKÝ, Marian [2014]: Visualization of landscape changes and threatening environmental processes using a digital landscape model*. – In: *8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8)*, 26-29 August 2013, Kuching, Sarawak, Malaysia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 18, 6 p.
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/18/1/012018/pdf> – last access: 18.01.2018
- TALHOFFER, Václav / HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Šárka / HOFMANN, Alois [2012]: Improvement of digital geographic data quality*. – In: *International Journal of Production Research*, Vol. 50, Issue 17, pp. 4846-4859.
 ISSN: 0020-7543
 e-ISSN: 1366-588X
- ZADEH, Lotfi A. [1965]: Fuzzy Sets*. – In: *Information and Control*, Vol. 8, Issue 3, pp. 338-353.
 ISSN: 0019-9958

Address of the author:

Prof. VÁCLAV TALHOFFER
 University of Defence
 Faculty of Military Technology
 Department of Military Geography and Meteorology
 Kounicova 65
 CZ-66210 Brno
 Tel.: +420 / 973 445 028
 E-Mail: vaclav.talhofer@unob.cz

Flurbereinigung zur nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt aktuelle Trends der Kulturlandschaftsentwicklung in Deutschland. In diesem Kontext wird deutlich, dass eine nachhaltige Landnutzung vielfach nur durch Bodenordnung möglich ist. Hieraus ergeben sich wichtige Aufgabenschwerpunkte der Flurbereinigung. Ihre Lösung erfordert auch eine zeitgemäße Interpretation und Anwendung der rechtlichen Grundlagen, insbesondere des vereinfachten Flurbereinigungsverfahrens zur Landentwicklung und Lösung von Landnutzungskonflikten nach § 86 FlurbG.

Summary

The paper illustrates current trends of development of cultural landscapes in Germany. In this context, it becomes apparent that oftentimes only the reallocation of property rights enables sustainable land use. From this follow important main tasks of land consolidation. The resolution of these problems demands also contemporary interpretation and application of the legal basis, e. g. the simplified land consolidation procedure for land development and for the resolution of land use conflicts pursuant to section 86 Land Consolidation Act.

1. Einleitung

Unter Kulturlandschaft versteht man die vom Menschen gestaltete und bewirtschaftete Landschaft im Gegensatz zur Naturlandschaft als einer weitestgehend unberührten Landschaft. Naturlandschaften finden sich in einem dicht besiedelten und hoch industrialisierten Land wie Deutschland nur noch in den Gebirgsregionen und Küstenbereichen; fast der gesamte Raum ist Kulturlandschaft, wozu auch die Städte als urbane Landschaften gehören.

Der folgende Beitrag soll sich nur mit der freien Landschaft beschäftigen und auch den Wald ausklammern, obwohl die Waldneuordnung im Zuge der Holzmobilisierung zur Roh- und Energienstoffgewinnung sowie des dringend notwendigen Waldumbaus zu klimaresistenten Mischbeständen in letzter Zeit eine Renaissance erfährt. Dies würde jedoch den Umfang des Beitrages sprengen, so dass auf die Dokumentation des 134. DVW-Seminars „Waldneuordnung“ am 12. und 13. Mai 2014 in Würzburg verwiesen werden soll [siehe DVW, 2014]. Ferner wird auf die Unternehmensflurbereinigung zur eigentums-, nutzungs- und landschaftsverträglichen Realisierung von Infrastruktur- und anderen Großbauvorhaben nicht weiter eingegangen, da ihre Anwendungsvoraussetzungen und Wirkungen hinreichend bekannt sind. Vielmehr sollen die gewöhnliche Flurbereinigung und ihre Bedeutung für die Kulturlandschaftsentwicklung näher beleuchtet werden. Kernfragen der Kultur-

landschaftsentwicklung sind das „wohin“ und das „womit“, also die Frage nach den Trends und Treibern und die Frage nach den Instrumenten, um die Kulturlandschaftsentwicklung nachhaltig zu gestalten.

2. Treiber der Kulturlandschaftsentwicklung

In Deutschland lassen sich stark vereinfacht folgende Flächennutzungen mit ihren prozentualen Anteilen an der Gesamtfläche von rund 36 Mio. ha unterscheiden (Stand 2015) [vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT, 2017]:

- 52 % Landwirtschaftsfläche einschließlich Moor- und Heidefläche,
- 31 % Waldfläche,
- 14 % Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV),
- ~2 % Wasserfläche,
- <2 % Fläche anderer Nutzungen (insb. Militärgelände, Abbauland und Abraumhalde).

In den letzten 20 Jahren – also im Zeitraum von 1992 bis 2012 – nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche um rund 792.000 ha, die Waldfläche um 343.000 ha und die Wasserfläche um 80.000 ha zu, während die landwirtschaftlich genutzte Fläche um 865.000 ha und die sonstige Fläche um 350.000 ha abnahm [vgl. DBV, 2015]. Letzteres ist jedoch

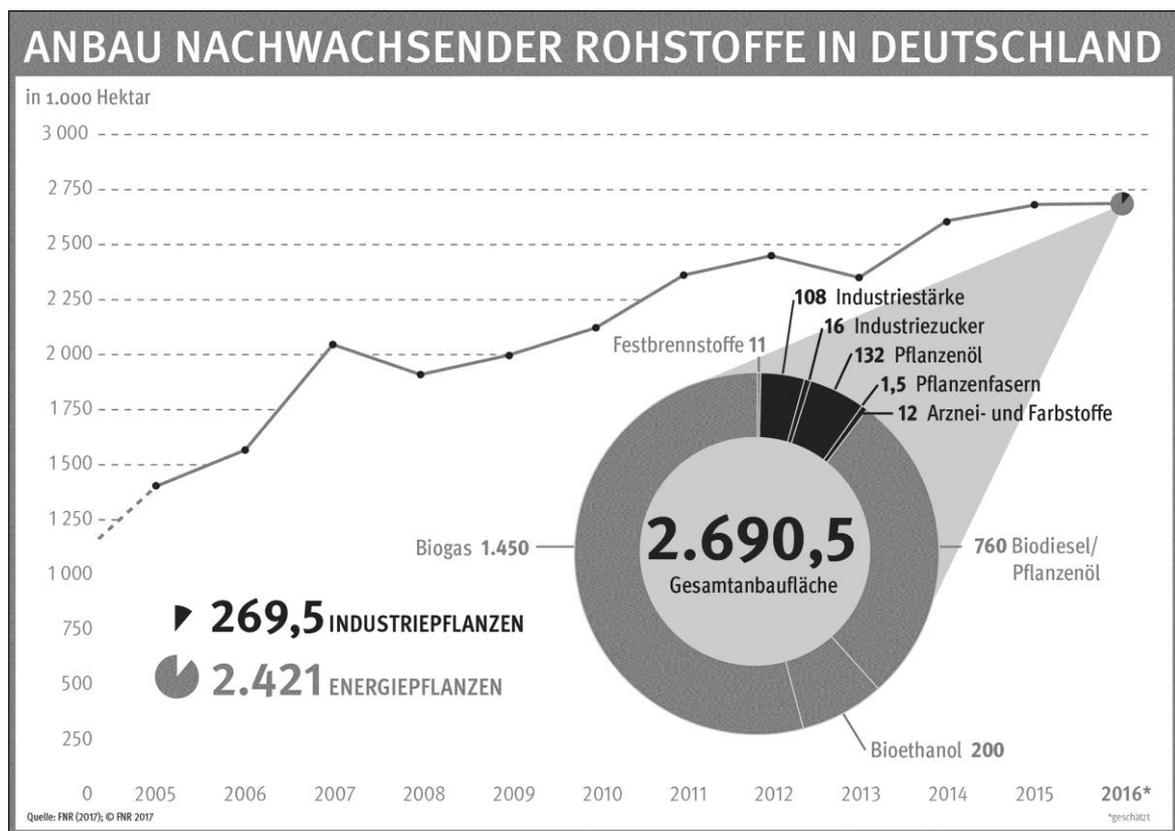


Abb. 1: Entwicklung der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe [aus FNR, 2017].

Beim Biogas macht sich die mit dem Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechtes vom 21. Juli 2014 (BGBl. I, Nr. 33, S. 1066) am 1. August 2014 in Kraft getretene Absenkung der Förderung für die Biogasproduktion aus Energiepflanzen deutlich bemerkbar. Hierdurch soll das Ziel verfolgt werden, den weiteren Ausbau vor allem auf Gülle sowie Rest- und Abfallstoffe zu konzentrieren. Diese Entwicklung ist mittlerweile aber schon wieder überholt, denn mit der vorletzten Änderung des EEG vom 13. Oktober 2016 (BGBl. I, Nr. 49, S. 2259) ist auf Drängen Bayerns das sog. Ausschreibungsverfahren auch für die Stromerzeugung aus Biomasse zum 1. Januar 2017 eingeführt worden. Dies hat zur Folge, dass in Zukunft wieder mit einem leichten Anstieg der Anbauflächen für Biogas zu rechnen ist.

In diesem Kontext ist jedoch hervorzuheben, dass die Landwirtschafts- und Agrarstrukturentwicklung bis vor etwa zehn Jahren von einem Überschuss an Fläche geprägt war. So wurde in der EU im Anbaujahr 1988/89 zunächst die freiwillig und ab dem Anbaujahr 1993/94 die obligatorische Flächenstilllegung mit einem Satz von 15% (bezogen auf die Getreide- und Ölsaatenfläche als Referenzfläche zur Berechnung der betriebsindividuellen Stilllegungsrate) eingeführt. Diese wurde zur Vereinfachung im Jahr 2005 auf 10% der gesamten Ackerfläche bezogen, was dazu führte, dass in den Ackerbauregionen mit hohen Gemüse-, Kartoffel- und Zuckerrübenanteilen der Umfang der stillgelegten Flächen stark anstieg. Wie bekannt, wurde die Flächenstilllegung im Jahr 2008 erstmals ausgesetzt und ab 2009 ganz abgeschafft. Hierdurch konnte dem zunehmenden Flächenbedarf für Energiepflanzen entsprochen werden, der in den letzten zehn Jahren von 1,1 Mio. ha (2005) auf 2,4 Mio. ha (2015) gestiegen ist und sich mittlerweile auf diesem Niveau eingependelt hat (siehe Abb. 1). Agrarstrukturell konnte der erhöhte Bedarf für den Biomasseanbau also durch den Wegfall der Flächenstilllegung weitestgehend kompensiert werden.

Bei der Klimaanpassung geht es neben dem Bodenschutz vor allem um den Hochwasserschutz, d.h. große steuerbare Flutpolder an den Strömen und Flüssen sowie kleine dezentrale Maßnahmen zur Wasserrückhaltung in der Fläche. Hinzu kommen die Vorhaben zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL – Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemein-

renzfläche zur Berechnung der betriebsindividuellen Stilllegungsrate) eingeführt. Diese wurde zur Vereinfachung im Jahr 2005 auf 10% der gesamten Ackerfläche bezogen, was dazu führte, dass in den Ackerbauregionen mit hohen Gemüse-, Kartoffel- und Zuckerrübenanteilen der Umfang der stillgelegten Flächen stark anstieg. Wie bekannt, wurde die Flächenstilllegung im Jahr 2008 erstmals ausgesetzt und ab 2009 ganz abgeschafft. Hierdurch konnte dem zunehmenden Flächenbedarf für Energiepflanzen entsprochen werden, der in den letzten zehn Jahren von 1,1 Mio. ha (2005) auf 2,4 Mio. ha (2015) gestiegen ist und sich mittlerweile auf diesem Niveau eingependelt hat (siehe Abb. 1). Agrarstrukturell konnte der erhöhte Bedarf für den Biomasseanbau also durch den Wegfall der Flächenstilllegung weitestgehend kompensiert werden.

schaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. EG Nr. L 327 vom 22. Dezember 2000, S. 1-73), also die Renaturierung von Fließgewässern und Flussauen sowie die Anlage von begleitenden Gewässerschutzstreifen, welche ebenfalls zum Boden- und Hochwasserschutz beitragen. Für diese landeskulturellen Maßnahmen ist in der Bevölkerung und auch bei den Landwirten weitestgehend Akzeptanz vorhanden, weil in den Flutpoldern die landwirtschaftliche Nutzung weitergeführt werden kann und die dezentrale Wasserrückhaltung auch unmittelbar vor Ort wirkt und damit den Grundstückseigentümern und Flächennutzern selbst zu Gute kommt.

Größte Akzeptanzprobleme bereitet die Inanspruchnahme von Landwirtschaftsflächen für naturschutzrechtliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen im Zusammenhang mit dem Siedlungs- und Infrastrukturausbau [vgl. DLKG, 2016]. Hier ist mit dem neuen Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG vom 29. Juli 2009, BGBl. I, Nr. 51, S. 2542), welches am 1. März 2010 in Kraft getreten ist, die im Baurecht seit Mitte der 1990er Jahre bewährte räumliche, zeitliche und instrumentelle Trennung von Eingriffen und deren Kompensation (Ökoko) nun in das allgemeine Planungsrecht übernommen worden (vgl. § 16 BNatSchG). Anzumerken ist, dass dieses Vorgehen auch schon vorher nach dem Bundesraumordnungsgesetz (ROG) möglich war, wenn in der Regionalplanung zur Freiraumstruktur geregelt wurde, dass unvermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft, die durch Großbauvorhaben verursacht werden, an anderer Stelle als am Ort des Eingriffes ausgeglichen, ersetzt oder gemildert werden können (siehe heute § 8 Abs. 5 Satz 2 ROG vom 22. Dezember 2008, BGBl. I, Nr. 65, S. 2986).

Beim Bau der Küstenautobahn A 20 (Lübeck – Uckermark, auch Ostseeautobahn genannt) wurde ab 1992 von dieser Regelung vor allem in Mecklenburg-Vorpommern überaus erfolgreich Gebrauch gemacht, indem nur wenige trassenbegleitende Ausgleichsmaßnahmen im landwirtschaftlichen Gunstraum der Küstenregion durchgeführt wurden, sondern überwiegend Gewässer- und Moorrenaturierungen sowie Grünlandextensivierungen als Ersatzmaßnahmen auf Flächen, die ohnehin für die Landwirtschaft weniger geeignet waren. So entstand zum Beispiel zwischen Franzburg und Richthenberg seit 2006 durch Wiederaufstauung der 130 ha große Richthenberger See aus einem Gewässer, das 1936 durch den Reichsarbeitsdienst trockengelegt worden war.

Die in der Bauleit- und Regionalplanung mit großem Erfolg praktizierte räumliche Trennung von Eingriffen und deren Ausgleich bzw. Ersatz ist durch das neue BNatSchG nun zum Mainstream er-

hoben worden. Sie ermöglicht die Integration der Kompensation in die landwirtschaftliche Nutzung und deren Optimierung aus landschaftsökologischer und agrarstruktureller Sicht. Gleichzeitig können weitere Inwertsetzungen der Kulturlandschaft insbesondere für Freizeit, Erholung und Tourismus erzeugt werden, was zu multifunktionalen Landnutzungskonzepten führt [siehe hierzu weiterführend DLKG, 2016]. Ihre Umsetzung erfordert in der Regel Maßnahmen der Bodenordnung.

3. Flurbereinigung als Agrarstrukturverbesserung

Unter Bodenordnung im engeren Sinne versteht man die Anpassung der vorhandenen subjektiven Eigentums-, Besitz- und Nutzungsverhältnisse an Grundstücken an die objektiven Erfordernisse der Bodennutzungsplanung und einer möglichst konfliktfreien Landnutzung. Die Bodenordnung kann sowohl freiwillig in freier Übereinkunft der Eigentümer, Flächennutzer und Planungsträger erfolgen, als auch in einem hoheitlichen Verfahren durch Verwaltungsakt. Nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit staatlichen Handelns und des geringstnötigen Eingriffes in private Rechte sind zur Lösung der Bodenfrage zunächst freiwillige Vereinbarungen anzustreben. Nur wenn die Möglichkeiten der privaten Bodenordnung (durch Kauf bzw. Tausch von Grundstücken oder Nutzungsvereinbarungen) unter angemessenen Bedingungen nicht zum notwendigen Erfolg führen, ist der Staat berechtigt, subsidiär mit öffentlich rechtlichen Gestaltungsmitteln einzugreifen. Dabei sind zunächst privatnützige Bodenordnungsverfahren in Erwägung zu ziehen, die in erster Linie den objektiven, wohlverstandenen Interessen der Grundeigentümer dienen und als untergeordneten Nebenzweck auch öffentliche Belange der Bodennutzungsplanung verfolgen (akzessorische Grundstücksneuordnung). Erst wenn auch diesem Vorgehen der Erfolg versagt bleibt, darf der Staat zur Umsetzung eines konkreten Fachplanes für öffentliche Erfordernisse im Wohl der Allgemeinheit als letztes Mittel die Enteignung nach Art. 14 Abs. 3 GG zur Grundstücksbeschaffung anwenden.

Diese grundsätzlichen Prinzipien der Bodenordnung sind auch in der Kulturlandschaftsentwicklung zu beachten. In Folge des Klimawandels und zur Umsetzung der WRRL sind in nahezu allen Agrarlandschaften Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz notwendig, die mit dem Aufbau eines Biotopverbundes für den Artenschutz

kombiniert werden sollten. Dabei steht die Realisierung folgender Aspekte im Vordergrund:

1. standortangepasste Flächenbewirtschaftung, d. h. Grünlandnutzung in Auen- und Hangbereichen sowie Acker möglichst nur im ebenen und weniger stark geneigten Gelände,
2. höhenlinienparallele Ausrichtung der Grundstücke und deren Bewirtschaftung zur Minderung des Bodenabtrages durch Wasser (Konturnutzung),
3. Anlage von Erosionsschutzhecken gegen Wind- und Wassererosion und anderen linearen Landschaftselementen zur Verkürzung der erosionswirksamen Hanglänge,
4. Renaturierung der Bäche und Vorfluter sowie Ausweisung von Gewässerschutzstreifen an möglichst allen Gewässern,
5. Umsetzung einer dezentralen Wasserrückhaltung in der Fläche durch Anlage von Kleinstrückhaltebecken (Erdbecken) und Flutmulden sowie
6. Aufbau eines Biotopverbundes mit den Fließgewässern als Kernelement und einem Flächenanteil der ökologischen Vorrangfläche von etwa 10% an der Gesamtfläche.

Neben den traditionellen bäuerlichen Kulturlandschaften wie Geest-, Heide-, Moor- und Heckenlandschaften, den Bereichen mit Sonderkulturen (Wein-, Hopfen-, Spargel-, Ost- und Gemüseanbau) sowie den in neuerer Zeit durch Flurbereinigung bereits neu geordneten Gebieten lassen sich die Agrarlandschaften Deutschlands in drei grundsätzliche Typen einteilen (ungeordnete, intensiv genutzte Kulturlandschaften sowie einseitig agrarökonomisch gestaltete Agrarlandschaften in West- und Ostdeutschland). Ihre Entstehung sowie die dadurch bedingten Defizite in agrarstruktureller

und landschaftsökologischer Sicht, aber auch der spezifische Neuordnungsbedarf, wurden bereits im Zusammenhang mit der Flächenbereitstellung für öffentliche Zwecke ausführlich analysiert [siehe THIEMANN, 2011], so dass zur Vermeidung von Wiederholungen hierauf verwiesen werden soll. Die genannten Landschaften umfassen schätzungsweise etwa zwei Drittel der Agrarlandschaften in Deutschland.

Gerade der Landschaftstyp der ungeordneten und durch intensive Nutzung ausgeräumten Agrarlandschaft (Abb. 2, links) verdeutlicht, dass eine befriedigende Landschaftsgestaltung über eine Landschaftsplanung (§ 11 BNatSchG) und freiwillige Bodenordnung nicht zu erreichen ist, weil dabei die vorhandenen Wege-, Gewässer- und Grundstücksstrukturen als gegeben angehalten werden müssen. So besteht zum Beispiel aus landespflegerischer Sicht in diesem Fall nur die Möglichkeit, Baumreihen entlang der Wege zu pflanzen, Ufergehölze innerhalb der Gewässergrundstücke anzulegen und Schutzstreifen durch Nutzungsvereinbarungen aus der Bewirtschaftung zu nehmen sowie einzelne Grundstücke anzukaufen und ökologisch aufzuwerten (Abb. 2, Mitte). Eine überzeugende Gesamtlösung kann auf diese Weise nicht erreicht werden, sondern setzt eine grundlegende Neuordnung voraus (Abb. 2, rechts), wie sie in § 1 des Flurbereinigungs-gesetzes (FlurbG) definiert ist. Die Definition und Zweckbestimmung lautet wie folgt:

§ 1 FlurbG:

„Zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft sowie zur Förderung der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung kann ländlicher Grundbesitz durch Maßnahmen nach diesem Gesetz neu-geordnet werden (Flurbereinigung).“

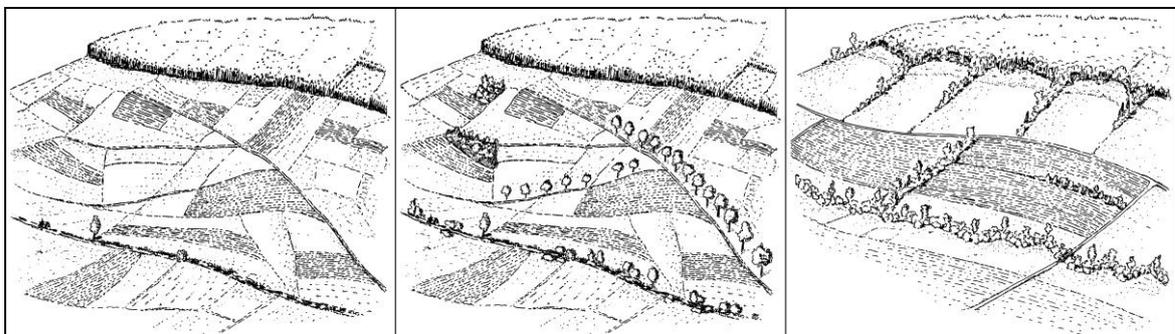


Abb. 2: *Landschaftstyp der ungeordneten und intensiv genutzten Agrarlandschaft mit ganzheitlichem, ökonomisch-ökologischem Neuordnungsbedarf (links), unzureichende Weiterentwicklung mit den Möglichkeiten der freiwilligen Bodenordnung (Mitte), ganzheitliche Neugestaltung durch Flurbereinigung (rechts) [aus OBERHOLZER, 2000, S. 82, 85 und 87].*

Flurbereinungsverfahren können in den genannten Agrarlandstypen in der Regel problemlos angeordnet werden, weil sie mit dem hauptsächlichsten Zweck der Agrarstrukturverbesserung (Grundstücksarrondierung bzw. Feststellung und Neuordnung der Eigentumsverhältnisse in den neuen Ländern sowie ländlicher Wegebau und Aufwertung der agrarökologischen Situation durch Bodenschutz) eindeutig privatnützigen Zielen der Grundstückseigentümer und Flächennutzer dienen. Sie verfolgen als untergeordneten Nebenzweck aber auch öffentliche Belange, wie etwa Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL sowie des Biotopschutzes und der Erholungsvorsorge. Denn nur so kann dem Neugestaltungsauftrag in § 37 Abs. 1 Satz 1 FlurbG entsprochen werden. Die Vorschrift lautet:

§ 37 Abs. 1 Satz 1 FlurbG:

„Das Flurbereinigungsgebiet ist unter Beachtung der jeweiligen Landschaftsstruktur neu zu gestalten, wie es den gegeneinander abzuwägenden Interessen der Beteiligten sowie den Interessen der allgemeinen Landeskultur und der Landentwicklung entspricht und wie es das Wohl der Allgemeinheit erfordert.“

Der Auftrag, das Flurbereinigungsgebiet auch nach den Erfordernissen des Allgemeinwohls neu zu ordnen und neu zu gestalten, wird ergänzt durch § 37 Abs. 2 FlurbG. Dort heißt es:

§ 37 Abs. 2 FlurbG:

„Die Flurbereinigungsbehörde hat bei der Durchführung der Maßnahmen nach § 37 Abs. 1 die öffentlichen Interessen zu wahren, vor allem den Erfordernissen der Raumordnung, der Landesplanung und einer geordneten städtebaulichen Entwicklung, des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, des Denkmalschutzes, der Erholung, der Wasserwirtschaft einschließlich Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, der Fischerei, des Jagdwesens, der Energieversorgung, des öffentlichen Verkehrs, der landwirtschaftlichen Siedlung, der Kleinsiedlung, des Kleingartenwesens und der Gestaltung des Orts- und Landschaftsbildes sowie einer möglichen bergbaulichen Nutzung und der Erhaltung und Sicherung mineralischer Rohstoffvorkommen Rechnung zu tragen.“

Die Berücksichtigung der öffentlichen Interessen erfolgt zum einen durch eine entsprechende Einstellung in die Planung und Ausführung der originären Flurbereinigungsmaßnahmen nach § 37 Abs. 1 Satz 2 FlurbG (siehe unten) und zum anderen durch eine Landbereitstellung für öffentliche Vorhaben (vgl. Abb. 3: Gewässer- und Artenschutz in der Flurbereinigung Neuses b. W., Stadt Windsbach, Landkreis Ansbach – Regelverfahren nach

§§ 1, 4 und 37 FlurbG, 1994-2016). Die Flächen für öffentliche Zwecke stammen in der Regel aus folgenden Quellen, wobei die Reihung zugleich auch eine Prioritätenfolge in der Akquise darstellt [vgl. THIEMANN, 2011]:

1. eigene im Verfahrensgebiet gelegene Grundstücke der jeweiligen Vorhabenträger, die oft durch einen sogenannten vorlaufenden Grunderwerb an beliebiger Stelle durch Kauf erworben worden sind,
2. eigene im Verfahrensgebiet gelegene Grundstücke der jeweiligen Vorhabenträger, die oft durch einen sogenannten vorlaufenden Grunderwerb an beliebiger Stelle durch Kauf erworben worden sind,
3. direkt von einzelnen Teilnehmern erworbene Abfindungsansprüche (gezielte und von der Flurbereinigungsbehörde vermittelte Landabfindungsverzichtserklärungen nach § 52 FlurbG),
4. von der Flurbereinigungsbehörde bzw. von der Teilnehmergeinschaft oder von einem Verband der Teilnehmergeinschaften (auch für erst beizuziehende Grundstücke) über § 52 FlurbG erworbene und zur Verfügung gestellte Abfindungsansprüche (sog. Landzwischenenerwerb),
5. über eine Erhöhung des Landbeitrages nach § 40 Satz 3 FlurbG in Verbindung mit § 47 Abs. 1 FlurbG gegen Geldausgleich an die Teilnehmergeinschaft zur Verfügung gestellte Flächen [hierzu weiterführend aus verfassungsrechtlicher Sicht THIEMANN, 2012] und
6. von der Teilnehmergeinschaft im Verfahren nicht benötigtes und gemäß § 54 Abs. 2 FlurbG gegen Geldausgleich zur Verfügung gestelltes Masseland.

Bei einer Flächenbereitstellung nach § 40 Satz 3 FlurbG hat der jeweilige Vorhabenträger sowohl für das Land als auch für entstehende Schäden einen angemessenen Kapitalbeitrag an die Teilnehmergeinschaft zu leisten, soweit eine Anlage nicht zugleich dem wirtschaftlichen Interesse der Teilnehmer dient. Eine Grenze findet die Landbereitstellung für öffentliche Anlagen in allen Fällen in der wertgleichen Landabfindung der Teilnehmer nach § 44 Abs. 1-4 FlurbG (siehe unten), die keinesfalls beeinträchtigt werden darf.

4 Flurbereinigung als Bodenordnung im engeren Sinne

Wie in Kapitel 3 dargelegt, ist das deutsche Flurbereinigungsgesetz mit der in § 1 FlurbG normierten Definition und Zweckbestimmung zunächst ein Fach-

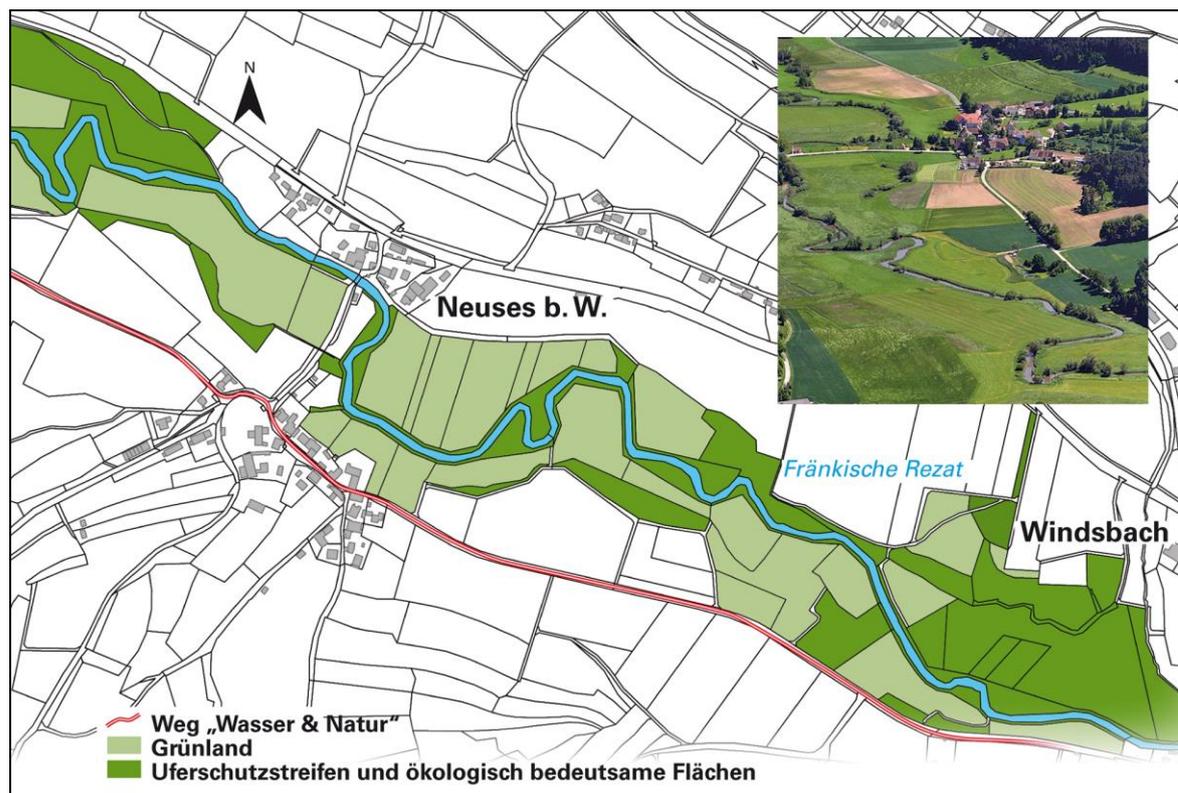


Abb. 3: Bodenmanagement für den Gewässer- und Artenschutz im Gruppenverfahren Mittlere Rezat, Amt für Ländliche Entwicklung Mittelfranken [aus KEMPE, 2011].

planungsgesetz zur Agrarstrukturverbesserung, in dem allerdings auch die Bodenordnung im engeren Sinne mit enthalten ist [vgl. THIEMANN, 2003]. Denn im Gegensatz zu allen anderen Fachplanungen, bei denen die Neuordnung der Eigentums-, Besitz- und Nutzungsverhältnisse nur notwendig ist, um das jeweils anstehende Vorhaben zu ermöglichen, ist bei der Verbesserung der Agrarstruktur nach dem FlurbG die Bodenordnung kein bloßes Mittel zum Zweck, sondern Teil der Fachaufgabe selbst. Dies hat zur Folge, dass beide Komponenten

1. förmliche Fachplanung Agrarstrukturverbesserung in Form des Planes über die gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen nach § 41 FlurbG (Wege- und Gewässerplan mit landschaftspflegerischem Begleitplan) und
2. hoheitliche Neuordnung der privaten Rechtsverhältnisse und Grundstücksstrukturen in Form des Flurbereinigungsplanes nach § 58 Abs. 1 FlurbG (mindestens wertgleiche Landabfindung)

so eng miteinander verbunden sind, dass sie als solche kaum in Erscheinung treten. Vielmehr ist im Regelverfahren nach § 1 FlurbG die Bodenordnung in die Fachaufgabe Agrarstrukturverbesserung integriert und auf die speziellen Belange der Landwirtschaft abgestellt. Dies wird im Maßnahmenkatalog

der Flurbereinigung gemäß § 37 Abs. 1 Satz 2 FlurbG besonders deutlich. Die Regelungen lauten:

§ 37 Abs. 1 Satz 2 FlurbG:

„Die Feldmark ist neu einzuteilen und zersplitterter oder unwirtschaftlich geformter Grundbesitz nach neuzeitlichen betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten zusammenzulegen und nach Lage, Form und Größe zweckmäßig zu gestalten; Wege, Straßen, Gewässer und andere gemeinschaftliche Anlagen sind zu schaffen, bodenschützende sowie -verbessernde und landschaftsgestaltende Maßnahmen vorzunehmen und alle sonstigen Maßnahmen zu treffen, durch welche die Grundlagen der Wirtschaftsbetriebe verbessert, der Arbeitsaufwand vermindert und die Bewirtschaftung erleichtert werden.“

Aber auch die Vorschriften zur mindestens wertgleichen Landabfindung aller Teilnehmer einer Flurbereinigung gemäß § 44 Abs. 1-4 FlurbG sind auf die speziellen Erfordernisse der Landwirtschaft ausgerichtet. Die maßgeblichen Vorschriften lauten:

§ 44 Abs. 1-4 FlurbG:

„(1) Jeder Teilnehmer ist für seine Grundstücke unter Berücksichtigung der nach § 47 FlurbG vorgenommenen Abzüge mit Land von gleichem Wert abzufinden. ...

- (2) *Bei der Landabfindung sind die betriebswirtschaftlichen Verhältnisse aller Teilnehmer gegeneinander abzuwägen und alle Umstände zu berücksichtigen, die auf den Ertrag, die Benutzung und die Verwertung der Grundstücke wesentlichen Einfluss haben.*
- (3) *Die Landabfindungen müssen in möglichst großen Grundstücken ausgewiesen werden. Unvermeidbare Mehr- oder Minderausweisungen von Land sind in Geld auszugleichen. Die Grundstücke müssen durch Wege zugänglich gemacht werden; die erforderliche Vorflut ist, soweit möglich, zu schaffen.*
- (4) *Die Landabfindung eines Teilnehmers soll in der Nutzungsart, Beschaffenheit, Bodengüte und Entfernung vom Wirtschaftshofe oder von der Ortslage seinen alten Grundstücken entsprechen, soweit es mit einer großzügigen Zusammenlegung des Grundbesitzes nach neuzzeitlichen betriebswirtschaftlichen Erkenntnissen vereinbar ist.*

Nach der programmatischen Definition und Aufgabenzuweisung in § 1 FlurbG kann eine Flurbereinigung jedoch nicht nur als Fachaufgabe zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft durchgeführt werden, sondern auch zur Förderung der Landentwicklung, sofern dies mit den Interessen der Mehrheit der Eigentümer im Sinne von § 4 FlurbG parallel läuft. Denn die Vorschrift lautet:

§ 4 FlurbG:

„Die obere Flurbereinigungsbehörde kann die Flurbereinigung anordnen und das Flurbereinigungsgebiet feststellen, wenn sie eine Flurbereinigung für erforderlich und das Interesse der Beteiligten für gegeben hält (Flurbereinigungsbeschluss); der Beschluss ist zu begründen.“

Ergänzend ist zur Aufgabe der Förderung der allgemeinen Landeskultur nach § 1 FlurbG anzumerken, dass hierunter heute alle Maßnahmen zur Verbesserung der Agrarstruktur und zur Landschaftspflege unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen Ausgleichsfunktion des ländlichen Raumes verstanden werden. Das Verfahrensziel umfasst somit alle ökonomischen und ökologischen Aspekte, die den Bemühungen um die land- und forstwirtschaftlich genutzte und betreute Kulturlandschaft zugrunde liegen [vgl. DEUTSCHER BUNDESTAG, 1974, S. 19]. Die „Förderung der allgemeinen Landeskultur“ schließt also die „Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land und Forstwirtschaft“ als Oberbegriff mit ein und beinhaltet darüber hinausgehende Maßnahmen des Gewässer-, Biotop- und Artenschutzes

sowie der landschaftsbezogenen Erholungsvorsorge im öffentlichen Interesse, die in den Bereich der „Förderung der Landentwicklung“ fallen. Der Standardkommentar zum FlurbG [siehe WINGERTER/MAYR, 2013, § 1, Rd.-Nr. 2, Abs. 2] führt hierzu weiter aus, dass jeder der drei Zwecke (Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land- und Forstwirtschaft, Förderung der allgemeinen Landeskultur und Förderung der Landentwicklung) für sich allein oder in beliebiger Verbindung eine Flurbereinigung rechtfertigen kann. Jedoch muss stets ein primär privatnütziger Zweck verfolgt werden, damit die Flurbereinigung zulässige Inhalts- und Schrankenbestimmung des Grundeigentums gemäß Art. 14 Abs. 1 Satz 2 GG bleibt. Dabei steht der Begriff der Landentwicklung für die Verwirklichung der von der Raumplanung für den ländlichen Raum vorgesehenen Ziele und stellt „Förderung der Landentwicklung“ im Gegensatz zu „Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen in der Land und Forstwirtschaft“ klar, dass die Flurbereinigungsbehörde nicht selbstständig als überörtliche Trägerin etwa der Landes-, Bauleit- oder Landschaftsplanung tätig werden darf, sondern ihre Aufgabe darin besteht, durch Bodenordnung die außerhalb des jeweiligen Flurbereinigungsverfahrens zu verwirklichenden Planungen zu erleichtern und hierzu beizutragen [vgl. DEUTSCHER BUNDESTAG, 1974, S. 19; WINGERTER/MAYR, 2013, § 1, Rd.-Nr. 4, Abs. 4 und § 1, Rd.-Nr. 6]. Damit ist das FlurbG zugleich auch allgemeines Bodenordnungsgesetz für den ländlichen Raum [vgl. SUDEROW/HEINRICHS 1975; THOMAS, 1995].

Erst mit der Novelle des FlurbG im Jahr 1994 erfolgte jedoch eine klare Trennung der Fachaufgabe Agrarstrukturverbesserung von der Bodenordnung im engeren Sinne, indem mit der neuen Fassung von § 86 FlurbG das „vereinfachte Flurbereinigungsverfahren zur Landentwicklung“ geschaffen wurde. Denn nach § 86 Abs. 2 Nr. 5 FlurbG kann von der Aufstellung eines Wege- und Gewässerplanes mit landschaftspflegerischem Begleitplan (§ 41 FlurbG) abgesehen und das Verfahren ausschließlich eingeleitet werden, um Maßnahmen der Landentwicklung zu ermöglichen (§ 86 Abs. 1 Nr. 1 FlurbG) und Landnutzungskonflikte aufzulösen (§ 86 Abs. 1 Nr. 3 FlurbG). Es bedurfte aber noch einer langen und intensiven Diskussion in der Fachwelt [vgl. THOMAS, 2009] und Klärung durch die Flurbereinigungsgerichte (zuletzt Beschluss des Oberverwaltungsgerichts Lüneburg vom 14. Oktober 2016, Recht der Landwirtschaft (RdL), Heft 2/2017, S. 46-49) bis die Anwendungsvoraussetzungen der Flurbereinigung nach § 86 FlurbG als Bodenordnung im engeren Sinne eindeutig herausgearbeitet

wurden. Sie lassen sich heute wie folgt zusammenfassen [vgl. *THIEMANN et al., 2015, S. 103 f.*]:

1. Anlass:

Die Umsetzung flächenbeanspruchender, bestandskräftiger bzw. für sofort vollziehbar erklärter formeller Planungen ist für die davon betroffenen Grundstückseigentümer und Flächennutzer in der Regel unabwendbar und erfordert somit zwangsläufig Maßnahmen der Bodenordnung im engeren Sinne. Gleiches gilt vielfach auch für informelle Planungen von gesellschaftspolitischer Relevanz und dadurch erzeugtem Willen zur Umsetzung.

2. Zweckbestimmung und deren Privatnützigkeit:

Die Auflösung der durch flächenbeanspruchende Planungen verursachten Landnutzungskonflikte im Sinne von Ziffer 1 durch Flurbereinigung, d. h. der Erhalt des Grundvermögens und seiner individuellen Nutzungsmöglichkeiten durch die mindestens wertgleiche Landabfindung aller Teilnehmer gemäß § 44 Abs. 1-4 FlurbG, entspricht der Zweckbestimmung des vereinfachten Flurbereinigungsverfahrens zur Landentwicklung nach § 86 Abs. 1 Nr. 3 FlurbG und ist in erster Linie privatnützig im Sinne von § 4 FlurbG, wie es § 86 Abs. 2 Nr. 1 Satz 1 FlurbG fordert.

3. Erforderlichkeit und Interesse der Beteiligten:

Eine befriedigende Lösung der Landnutzungskonflikte ist bei komplexen Verhältnissen vielfach nur durch eine umfassende Bodenordnung möglich, so dass eine Flurbereinigung nach § 86 FlurbG auch erforderlich ist und mit der unter Ziffer 2 genannten Zweckbestimmung auch im objektiven Interesse der Beteiligten (Grundstückseigentümer und landwirtschaftliche Betriebe als Flächennutzer) im Sinne von § 4 FlurbG liegt, wie es ebenfalls von § 86 Abs. 2 Nr. 1 Satz 1 FlurbG gefordert wird.

4. Materielle Rechtmäßigkeit:

Unerheblich ist es, ob die Flurbereinigung durch agrarstrukturelle Mängel (Besitzersplitterung, unzureichende Erschließung oder agrarökologische Defizite im Boden-, Gewässer- und Landschaftsschutz) initiiert oder durch fremdnützige, flächenbeanspruchende Vorhaben ausgelöst wird (siehe Ziffer 1). Ihre materielle Rechtmäßigkeit beurteilt sich in diesem Zusammenhang ausschließlich nach dem hauptsächlichen Zweck des jeweiligen Verfahrens. Die Anordnung eines vereinfachten Flurbereinigungsverfahrens zur Landentwicklung ist materiell rechtmäßig, wenn seine Zweckbestimmung den Anforderungen nach § 86 entspricht (siehe Ziffer 2), die Flurbereinigungs-

behörde gemäß § 4 das Verfahren für erforderlich und das Interesse der Beteiligten für gegeben halten durfte (siehe Ziffer 3) und wenn sie das ihr zur Anordnung des Verfahrens und Abgrenzung des Verfahrensgebietes gemäß § 7 Abs. 1 Satz 2 FlurbG eingeräumte Ermessen ordnungsgemäß ausgeübt hat (vgl. Urteil des Oberverwaltungsgerichts Münster vom 5. Juli 2016, RdL 1/2017, S. 18-21).

5. Flächenbereitstellung für Fremdplanungen:

Evident und verfahrensimmanent ist, dass die Lösung der durch Fremdplanungen verursachten Landnutzungskonflikte durch Flurbereinigung mit der Unterstützung der Umsetzung eben dieser Fremdplanungen verbunden ist, also insofern auch fremdnützigen Zwecken dient. Denn die Auflösung der Landnutzungskonflikte dient sowohl den Grundstückseigentümern und landwirtschaftlichen Betrieben als auch der Realisierung der Fremdplanungen. Dieser Nebeneffekt ist vom Gesetzgeber bewusst gewollt und in § 86 Abs. 1 Nr. 1 FlurbG als eigener Verfahrenszweck normiert (Ermöglichung von Landentwicklungsmaßnahmen). Er überschneidet sich indes weitgehend mit privaten Interessen (siehe Ziffer 2 und 3). Daher sind die Zweckbestimmungen nach § 86 Abs. 1 Nr. 1 FlurbG und § 86 Abs. 1 Nr. 3 FlurbG (Auflösung von Landnutzungskonflikten) in der Regel als Einheit zu sehen.

Unabhängig von agrarstrukturellen Mängeln kann die Flurbereinigung also eingesetzt werden, um die von Fachplanungen ausgehenden Landnutzungskonflikte zu lösen und dadurch gleichzeitig deren Umsetzung zu ermöglichen. Dies gilt im Rahmen der nachhaltigen Kulturlandschaftsentwicklung insbesondere für Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL sowie zur Realisierung der Landschaftsplanung und naturschutzrechtlicher Kompensationsmaßnahmen. Der große Vorteil der Flurbereinigung ist dabei in einer Akzeptanzerhöhung zu sehen, weil die Enteignung vermieden und allen Grundeigentümern durch das Erfordernis der mindestens wertgleichen Landabfindung nach § 44 Abs. 1-4 FlurbG der vollständige Erhalt ihres Grundvermögens per Gesetz zugesichert ist. Darüber hinaus hat der jeweilige Maßnahmenträger gemäß § 86 Abs. 3 Satz 1 Halbsatz 1 FlurbG an die Teilnehmergemeinschaft die von ihm verursachten Ausführungskosten zu zahlen, so dass die Grundeigentümer nicht mit Kosten der Landentwicklung als solcher belastet werden. Ergänzend ist zu erwähnen, dass diesbezüglich auch keine Ko-Finanzierung aus Mitteln der Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur

und des Küstenschutzes (GAK) oder des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) möglich ist, weil die besagten Aufwendungen nicht agrarstrukturell, sondern ausschließlich durch die Umsetzung der Fremdplanungen bedingt sind.

In Gebieten ohne nennenswerte agrarstrukturelle Mängel, in denen die Flurbereinigung also nur die Ziele verfolgt, Maßnahmen der Landentwicklung zu ermöglichen (§ 86 Abs. 1 Nr. 1 FlurbG) und Landnutzungskonflikte aufzulösen (§ 86 Abs. 1 Nr. 3 FlurbG), sind die Ausführungskosten natürlich vollständig von den Maßnahmenträgern der Fremdplanungen aufzubringen. Ferner ist zu beachten, dass nicht nur die Geld- (§ 19 FlurbG), sondern auch die Landbeiträge (§ 47 FlurbG) als Pendant zu den allgemeinen Flurbereinigungsvorteilen zu sehen sind, die den Teilnehmern aus der Beseitigung agrarstruktureller Mängel erwachsen [vgl. THIEMANN, 2012]. Dies bedeutet, dass in solchen Verfahren auch kein Landabzug erhoben werden kann und damit selbstverständlich auch eine Landbereitstellung über § 40 Satz 3 FlurbG in Verbindung mit § 47 Abs. 1 FlurbG ausscheidet. Vielmehr sind die Flächen zur Umsetzung der Fremdplanungen ausschließlich aus eigenen Grundstücken der Vorhabenträger oder über Landabfindungsverzichts-erklärungen nach § 52 FlurbG aufzubringen.

5. Fazit und Ausblick

In Flurbereinigungsverfahren zur Agrarstrukturverbesserung ist die Umsetzung von dezentralen Hochwasser- sowie Boden- und Gewässerschutzmaßnahmen seit jeher – wie die Anlage von Biotopverbundsystemen – fester Bestandteil der Wege- und Gewässernetzplanung mit landschaftspflegerischer Begleitplanung nach § 41 FlurbG (siehe Beispiel in Abb. 4). Diese Maßnahmen gewinnen in Zukunft erheblich an Bedeutung, weil als Folge des

Klimawandels eine Verschiebung der Niederschläge um bis zu 40 % von den Sommer- in die Wintermonate zu erwarten ist, so dass in den zunehmend milderen Wintern ohne Schnee vermehrt Hochwasserereignisse auftreten. Ferner nehmen die Wetterextreme (Sturm, Hagel und Regen) zu, was dazu führt, dass auch in den trockeneren Sommern mit Starkniederschlägen zu rechnen ist. Deshalb ist eine Anpassung der Kulturlandschaften an den Klimawandel durch Hochwasser-, Boden- und Gewässerschutz zwingend geboten und zu verstärken [hierzu weiterführend DVW, 2010].

In Gebieten ohne nennenswerte Defizite in der Agrarstruktur können entsprechende Maßnahmen als Fachplanung (Wasserwirtschaft, Naturschutz, Bauleitplanung, Ökokonto, naturschutzrechtliche Kompensation) erstellt und mit dem vereinfachten Flurbereinigungsverfahren zur Landentwicklung nach § 86 FlurbG ermöglicht werden. Dies geschieht noch zu zögerlich, weil die Rechtsanwendung bisher unklar war. Es bleibt zu hoffen, dass die Flurbereinigung als Bodenordnung im engeren Sinne nun vermehrt Anwendung finden wird.

Literatur / Quellen

DBV – DEUTSCHER BAUERNVERBAND (Hrsg.) [2015]: Situationsbericht 2015/16. Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Eigenverlag, Berlin, 224 S.
ISBN: 978-3-9812770-7-4

DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.) [1974]: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Flurbereinigungsgesetzes. Gesetzentwurf der Bundesregierung. Bundestagsdrucksache 7/3020 vom 23.12.1974, 47 S.
<http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/07/030/0703020.pdf> – letzter Aufruf: 10.05.2017

DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.) [2002]: Bericht der Bundesregierung über die Perspektiven für Deutschland – Nationale Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bundestagsdrucksache 14/8953 vom 25.04.2002, 144 S.
<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/14/089/1408953.pdf> – letzter Aufruf: 10.05.2017



Abb. 4: Erosionsschutzstreifen zwischen hangparallel zugeteilten Grundstücken, der gleichzeitig auch zur Biotopvernetzung und Wasserrückhaltung in der Fläche beiträgt [aus KEMPE, 2011].

- DLKG – DEUTSCHE LANDESKULTURGESELLSCHAFT (Hrsg.) [2016]:* Flächenkonkurrenz entschärfen: gemeinsam – maßvoll – zukunftsfähig. Dokumentation der 37. Bundestagung vom 7. bis 9. Juni 2016 in Freising. Schriftenreihe der Deutschen Landeskulturgesellschaft, Heft 14. Eigenverlag, Münchenberg, 162 S.
ISSN: 1614-5240
- DVW – GESELLSCHAFT FÜR GEODÄSIE, GEOINFORMATION UND LANDMANAGEMENT [2010]:* Klimawandel und Landnutzung in Deutschland. Anforderungen an die Landentwicklung. Leitfaden und Positionspapier des DVW Arbeitskreis 5 „Landmanagement“. Schriftenreihe des DVW, Band 65. Wißner-Verlag, Augsburg, 88 S.
ISBN: 978-3-89639-803-1
ISSN: 0940-4260
- DVW – GESELLSCHAFT FÜR GEODÄSIE, GEOINFORMATION UND LANDMANAGEMENT (Hrsg.) [2014]:* Waldneuordnung. Beiträge zum 134. DVW-Seminar am 12. und 13. Mai 2014 in Würzburg. Schriftenreihe des DVW, Band 77. Wißner-Verlag, Augsburg, 140 S.
ISBN: 978-3-89639-997-7
ISSN: 0940-4260
- FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.) [2017]:* Grafiken.
<https://mediathek.fnr.de/grafiken.html> – letzter Aufruf: 28.04.2017
- HENDRICKS, Andreas / THIEMANN, Karl-Heinz [2017]:* Transition of Power Generation to Renewable Energies. New Challenges for Rural Land Management in Germany. – In: *HEPPERLE, Erwin / DIXON-GOUGH, Robert / MANSBERGER, Reinfried / PAULSSON, Jenny / HERNIK, Józef / KALBRO, Thomas (Hrsg.):* Land Ownership and Land Use Development. The Integration of Past, Present, and Future in Spatial Planning and Land Management Policies. vdf Hochschulverlag, Zürich, S. 171-183.
ISBN: 978-3-7281-3803-3
- KEMPE, Richard [2011]:* Hochwasserschutz und naturnahe Gewässergestaltung Mittlere Rezat. Ländliche Entwicklung in Mittelfranken. – In: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)*, 136. Jhrg., Heft 4, S. 239-246.
ISSN: 1618-8950
- OBERHOLZER, Gustav [2000]:* Die Weiterentwicklung der Kulturlandschaft. Landespflege in der Flurbereinigung, Teil V. Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München, Heft 68, Neubiberg, 152 S.
ISSN: 0173-1009
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) [2017]:* Flächennutzung. Bodenfläche nach Nutzungsarten.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche.html> – letzter Aufruf: 28.04.2017
- SUDEROW, Wolfgang / HEINRICH, Wolf [1975]:* Flurbereinigung und Raumordnung. Zur Novellierung des § 1 FlurbG. – In: *Innere Kolonisation – Land und Gemeinde (IKO)*, 24 Jhrg., Heft 2, S. 71-73.
ISSN: 0341-1869
- THIEMANN, Karl-Heinz [2003]:* Hat die ländliche Bodenordnung noch Zukunft? – In: *Flächenmanagement und Bodenordnung (fub)*, 65. Jhrg., Heft 1, S. 1-10.
ISSN: 1616-0991
- THIEMANN, Karl-Heinz [2011]:* Landbereitstellung für öffentliche Zwecke zur Entwicklung der Kulturlandschaft – Möglichkeiten und Grenzen der Flurbereinigung. – In: *Flächenmanagement und Bodenordnung (fub)*, 73. Jhrg., Heft 6, S. 273-280.
ISSN: 1616-0991
- THIEMANN, Karl-Heinz [2012]:* Zur verfassungsrechtlichen Einordnung von § 40 FlurbG. – In: *BEINEKE, Dieter / HEUNECKE, Otto / HORST, Thomas, / KLEIM, Uwe G. F. (Hrsg.):* Festschrift für Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner anlässlich des Ausscheidens aus dem aktiven Dienst. Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, Heft 87, Neubiberg, S. 249-257.
ISSN: 0173-1009
- THIEMANN, Karl-Heinz [2013]:* Energiewende – Kulturlandschaft im Wandel. – In: *UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN (Hrsg.):* Nachhaltigkeit und Innovation. 40 Jahre Universität der Bundeswehr München. Schriftenreihe der Universität der Bundeswehr München, Band 2, Neubiberg, S. 77-83.
ISSN: 1868-5935
https://www.unibw.de/praes/service/presse/publikationen/schriftenreihe-der-universitaet/10%202013%20Schriftenreihe%20BAU/at_download/file – letzter Aufruf: 10.05.2017
- THIEMANN, Karl-Heinz [2014]:* Der Beitrag der Immobilienwertermittlung zur Umsetzung der Energiewende am Beispiel der Windenergie. – In: *SCHWARZ, Jürgen (Hrsg.):* Nachhaltigkeit und Innovation in Baubetrieb und Tunnelbau. Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb der Universität der Bundeswehr München, Band 3. Verlag Dr. Hut, München, S. 437-445.
ISBN: 978-3-8439-1418-5
- THIEMANN, Karl-Heinz / BENZ, Klaus / SCHUMANN, Martin [2015]:* Materielle Rechtmäßigkeit des Landentwicklungsverfahrens nach § 86 FlurbG am Beispiel der Flurbereinigung NGP Bienwald West, Rheinland-Pfalz. – In: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)*, 140. Jhrg., Heft 2, S. 98-104.
ISSN: 1618-8950
- THOMAS, Joachim [1995]:* Zur Sinnhaftigkeit von Bodenordnungsmaßnahmen in den ländlichen Bereichen – Versuch einer Systematisierung. – In: *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung (ZKL)*, 36. Jhrg., Heft 6, S. 293-299.
ISSN: 0934-666X
- THOMAS, Joachim [2009]:* Möglichkeiten und Grenzen der Vereinfachten Flurbereinigung nach § 86 FlurbG bei der Lösung von Landnutzungskonflikten. – In: *Flächenmanagement und Bodenordnung (fub)*, 71. Jhrg., Heft 2, S. 56-64.
ISSN: 1616-0991
- WINGERTER, Klaus / MAYR, Christoph [2013]:* Flurbereinigungs-gesetz – Standardkommentar. 9. Auflage, Agricola-Verlag, Butjadingen-Stollhamm, XXIII, 716 S.
ISBN: 978-3-920009-11-7

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. KARL-HEINZ THIEMANN
Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
Institut für Geodäsie
Professur für Landmanagement
D-85577 Neubiberg
Tel.: +49 / (0)89 / 6004 - 4598
E-Mail: k-h.thiemann@unibw.de

Assigning Tie Points to a Generalised Building Model for UAS Image Orientation¹

Abstract

This paper addresses the integration of a building model into the pose estimation of image sequences. Images are captured by an Unmanned Aerial System (UAS) equipped with a camera flying in between buildings. Two approaches to assign tie points to a generalised building model in object space are presented. A direct approach is based on the distances between the object coordinates of tie points and planes of the building model. An indirect approach first finds planes within the tie point cloud that are subsequently matched to model planes; finally based on these matches, tie points are assigned to model planes. For both cases, the assignments are used in a hybrid bundle adjustment to refine the poses (image orientations). Experimental results for an image sequence demonstrate improvements in comparison to an adjustment without the building model. Differences and limitations of the two approaches for point-plane assignment are discussed – in the experiments they perform similar with respect to estimated standard deviations of tie points.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag behandelt die Integration von Gebäudemodellen in die Schätzung der Orientierung von Bildsequenzen. Die Bilder werden mittels eines UAS (Unmanned Aerial System) erfasst, das mit einer Kamera ausgerüstet ist und zwischen Gebäuden fliegt. Zwei Ansätze zur Zuordnung von Verknüpfungspunkten zu einem generalisierten Gebäudemodell werden vorgestellt. Ein direkter Ansatz beruht auf der Entfernung der Objektkoordinaten der Verknüpfungspunkte zu den Ebenen des Gebäudemodells. Ein indirekter Ansatz findet zuerst Ebenen in der Punktwolke der Verknüpfungspunkte und ordnet diese Ebenen dann denen des Modells zu; schließlich werden die Verknüpfungspunkte mit den Modellebenen auf der Grundlage der Ebenenzuordnung verbunden. Für beide Ansätze werden die Zuordnungen in einem hybriden Bündelansatz zur Verbesserung der Posen (Bildorientierungen) genutzt. Experimentelle Ergebnisse mit einer Bildsequenz demonstrieren Verbesserungen der Ergebnisse verglichen mit einer Ausgleichung ohne Gebäudemodell. Unterschiede und Grenzen der beiden Ansätze zur Punkt-Ebenen-Zuordnung werden diskutiert – in den Ergebnissen zeigen sich vergleichbare Werte für die geschätzte Standardabweichung der Verknüpfungspunkte.

1. Introduction

This paper addresses the estimation of the position and attitude, also referred to as pose or exterior orientation, of an Unmanned Aerial System (UAS) considering limitations that occur when using this type of platform. The range of civil applications of UAS is still growing and includes, for example, 3D reconstruction for visualization and planning, monitoring, inspection, cultural heritage, security, search and rescue and logistics. Most applications make use of the UAS technology as a flexible platform and have a need to know where the UAS is situated in relation to objects and often also in a world coordinate system. Due to their low weight and small cost, cameras are often used as sensors to capture the surroundings and to derive the pose relative to ob-

jects. However, from camera observations only, the scale of the scene and the pose in a world coordinate system cannot be derived. In addition, purely camera based orientation procedures like structure-from-motion (SFM) are affected by unfavourable error propagation if no loops are closed for single flight strips. To derive poses in a world coordinate system, classical approaches use Ground Control Points (GCPs) for indirect georeferencing and/or perform direct georeferencing based on the observations of Global Navigation Satellite System (GNSS) receivers and Inertial Measurement Units (IMUs). In case of UAS, direct georeferencing capabilities are limited due to payload restrictions and cost considerations. In addition, GNSS signal loss will occur more likely than in classical airborne scenarios, e.g. if the UAS flies through urban canyons. On the other hand, in-

¹ Nachdruck mit Genehmigung von: UNGER, Jakob / ROTTENSTEINER, Franz / HEIPKE, Christian [2017]: Assigning Tie Points to a Generalised Building Model for UAS Image Orientation. – In: STACHNISS, Cyrill / FÖRSTNER, Wolfgang / SCHNEIDER, Johannes (Eds.): International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 4-7 September 2017, Bonn, Germany. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLII-2/W6, pp. 385-39. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-385-2017>

direct georeferencing using GCPs is often time consuming, and it may be infeasible in certain scenarios.

An alternative is to additionally use an existing generalised building model to improve the pose parameters of the images taken by a camera on board of the UAS. Whereas both the geometric accuracy and the level of detail of such models may be limited, the integration of this information into the bundle adjustment is helpful to compensate inaccurate camera positions measured by GNSS and drift effects of a purely image-based pose estimation. The integration of the building model does not only increase the quality of the pose estimation, but it can also be helpful for applications such as 3D reconstruction for monitoring buildings at different epochs, because the reconstructed tie points for each epoch are related to the same model. Other application examples include the refinement and rendering of generalised building models.

The integration of the building model into bundle adjustment is based on fictitious observations that require object points to be situated on building model planes. In this paper, we expand our previous method [UNGER *et al.*, 2016] with respect to the assignment of object points to model planes to overcome errors in the estimated model planes introduced due to wrong assignments. The assignments are found in object space. As an alternative to a simple distance criterion, we assess an indirect approach in two variants that aims at finding planes in the 3D tie point cloud and relate them to model planes based on certain criteria.

The paper is structured as follows. The next section outlines related work in which a-priori knowledge about the objects visible to the sensor is introduced into pose estimation. Section 3 introduces our hybrid bundle adjustment method. Section 4 focuses on the generation of fictitious observations with two strategies, whereas section 5 contains the overall workflow of sensor orientation and sparse scene reconstruction. Experiments using real data to investigate the two strategies are presented in section 6, before we conclude and give an outlook on future work in section 7.

2. Related Work

An overview of UAS applications, platforms and sensors in remote sensing is given by PAJARES [2015]. Several authors deal with the integration of object knowledge other than GCPs into pose estimation and 3D reconstruction using images and/or other sensors. In general, we distinguish between “*soft constraints*” and “*hard constraints*” that are used to model additional knowledge in an adjustment procedure [ROT-

TENSTEINER, 2006]. “*Hard constraints*” are related to constraints between the unknowns that have to be fulfilled exactly. MCGLONE [1995] use such constraints to integrate generic knowledge about the captured objects into bundle adjustment. “*Soft constraints*” are modelled as observation equations for so called fictitious observations with an a-priori standard deviation. This type is used e.g. by GERKE [2011] to constrain image orientation with knowledge about horizontal and vertical lines in the scene.

With respect to the type of a-priori knowledge of a scene, height models or 3D wireframe models e.g. 3D city models are employed frequently. Digital terrain models (DTM) are used to constrain the heights of object points in a hybrid bundle adjustment for satellite imagery by several authors [STRUNZ, 1993; HEIPKE *et al.*, 2005; SPIEGEL, 2007]. LERNER *et al.* [2006] present a method to use ray tracing based on initial pose parameters to directly constrain rays of homologous points of image pairs with a DTM. Hard constraints are used in a robust adjustment that derives image poses for image pairs. Experiments are only carried out using simulated data and images of a miniaturised scene. The idea to constrain the height of object points for nadir images captured by an UAS is found in GEVA *et al.* [2015]. Assuming the pose of the first frame to be known, they also derive surface intersection constraints based on DTM heights that are used to form soft constraints for bundle adjustment. AVBELJ *et al.* [2015] use a digital surface model (DSM) to refine the orientation of hyperspectral images in urban areas. They use building outlines extracted from the DSM to match them to lines in the images using statistical tests. Derived constraints are integrated into a Gauss-Helmert adjustment process.

LÄBE/ELLENBECK [1996] use lines to match images to building outlines. Their approach is based on a 3D wireframe model and the aim is to improve the orientation of aerial images in bundle adjustment. Matching lines are found using pose clustering and robust spatial resection to filter outliers. LI-CHEE-MING/ARMENAKIS [2013] match lines found in UAS images to the edges of a Level of Detail 3 (LoD3) building model based on approximate pose parameters. They also apply their approach for indoor datasets and propose a solution to compute the initial pose based on line matches [LI-CHEE-MING/ARMENAKIS, 2017].

EUGSTER/NEBIKER [2009] also use corresponding lines to refine the exterior orientation parameters. Lines are extracted from UAS images and from virtual views of a building model. They use approximate image poses from the measurements of low cost sensors (IMU, barometer, GPS) that result

from a direct georeferencing strategy. For the lines they apply relational matching. Orientation parameters are iteratively refined by spatial resection. The procedure is reported to result in an improvement in accuracy of a factor 3 to 4 in comparison to the pure direct georeferencing.

VYSOTSKA/STACHNISS [2017] set up a constrained sliding window adjustment to refine laser scans of a ground platform moving in urban areas in 2D. Constraints are found by applying ICP to the scans. Approximate values for the starting pose are needed.

LOTHE *et al.* [2010] address monocular simultaneous localisation and mapping (SLAM) with a camera fixed in a car looking in the driving direction. They present a two-step post-processing method to limit drift effects. The first step is an ICP on sub blocks of the image sequence with a generalised building model (“*coarse correction*”), the second one consists of a constrained bundle adjustment that refines the image pose parameters (“*fine correction*”).

Our method does not rely on direct matches of points, lines or planes as features, but instead assigns tie points to model planes in object space. Such correspondences lead to soft constraints represented by fictitious observations that are integrated into an overall hybrid bundle adjustment. The adjustment simultaneously refines image poses, object points and the building model. In an iterative process assignments of points to model planes are updated. The expected degree of generalisation of the model is explicitly covered by the a-priori standard deviations of the fictitious observations.

3. Robust hybrid bundle adjustment

In our scenario, a UAS is equipped with a low-cost GNSS receiver and a camera that takes images in a multi-view configuration flying in between buildings. In addition, we assume to have knowledge about the scene in the form of a generalised building model represented by its vertices and faces. The topology is given by an ordered list of vertex indices that describe the boundary polygon of each model face. We refer to a model face as *model plane*.

The mathematical representation of the scenario is the one described by UNGER *et al.* [2016], see also Fig. 1. Image coordinates are related to object coordinates and pose parameters using the collinearity equations. Object points observed as homologous points in images are referred to as tie points in this paper. The vertices of the model are another type of object points. They are not explicitly observed in the images. Due to the generalisation of the model, it is possible that they even do not correspond to real

object points. Both types of points, tie points and vertices, are related to the building model by assigning them to corresponding model planes. The model planes are parameterised in local plane coordinate systems (x, y, z) that are related to the object coordinate system by six parameters each. These are three rotation angles and a 3D-shift P_0 from the origin of the object coordinate system to that of the local one for each plane. P_0 is initialised in the centre of gravity of the building model vertices of the plane. Initially, the x-y plane of the local system corresponds to the model plane and the z-axis corresponds to the plane normal N . As we want the adjustment to not only affect the reconstructed tie points but also the building model, each plane is parameterised in such a local coordinate system by two angles α, β defining the direction of the normal and a translation δ along the (local) z-axis.

Using this parameterisation, the relation between an object point and a plane is described by its orthogonal distance d to that plane following Eq. [1].

$$d = N(\alpha, \beta)^T \cdot \bar{P}(X, Y, Z) + \delta \quad [1]$$

$\bar{P}(X, Y, Z)$ is the object point expressed in the plane’s local coordinate system. $N(\alpha, \beta)^T$ represents the plane normal parameterised by the two angles α, β of the plane.

For the hybrid bundle adjustment, the functional and the stochastic models of UNGER *et al.* [2016] are used. In the stochastic model, we assume a constant a-priori level of accuracy for each observation type and uncorrelated observations.

The following observation types are used: Next to the image coordinates of tie points, there are direct observations for the projection centres of the cameras, obtained by the low cost GNSS receiver, and direct observations for the object space coordinates of the vertices of the building model. Two groups of fictitious observations relate object space coordinates of a point to planes of the building model using Eq. [1]. The first group consists of the fictitious observations related to tie points and the second consists of the ones for the vertices of the building model. Both reflect the assumption that an object point that belongs to a plane should have a distance of zero ($d = 0$) to that plane which leads to the observation equation

$$v_d = N(\alpha, \beta)^T \cdot \bar{P}(X, Y, Z) + \delta,$$

with v_d being the residual of the fictitious distance observation. As the model planes are affected by generalisation effects, the real distances of tie points may typically deviate from 0. We allow for only one fictitious observation per tie point, which means we do not model tie points as corner points. In contrast, vertices are assigned to multiple model planes; in

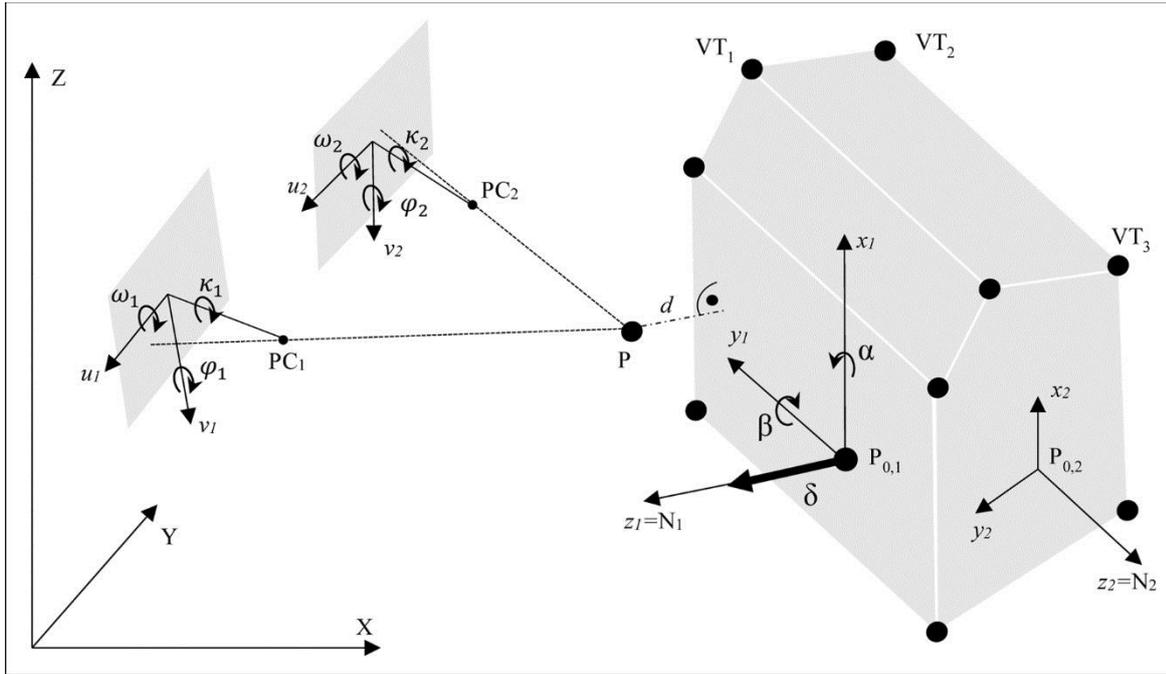


Fig. 1: Relevant entities in our scenario (adapted from UNGER et al. [2016]): Two poses i of the same camera with image coordinate axes (u_i, v_i) , projection centres PC_i and three rotation angles (ω, ϕ, κ_i) with $i \in \{1,2\}$ represent the multi-view scenario where sensors capture an object point P with world coordinates X, Y, Z . The generalised building model is represented by its vertices VT_k with $k \in \{1,2, \dots\}$ in world coordinates and by the planes they are situated in. Each plane j has a local coordinate system (x_j, y_j, z_j) where initially the local z_j -axis is the plane normal N_j and x_j, y_j are axes in the plane. The origin of the coordinate system of plane j is $P_{0,j}$, and each plane coordinate system is rotated relative to the world coordinate system by three angles (ω, ϕ, κ_j) that are not shown in the figure. Two angles α, β and a shift δ (bold arrow) along the local z -axis represent the parameterisation of the local plane. The orthogonal distance of an object point P to a corresponding plane of the building model is denoted by d .

this way the topology of the building model is considered in the adjustment.

The aforementioned observations are used as inputs for a Gauss-Markov model to estimate the following unknowns:

- the pose parameters for each image $(\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0)$,
- the object space coordinates of the tie points $(X, Y, Z)_{TP}$,
- three parameters of each model plane (α, β, δ) ,
- the object space coordinates of the vertices of the building model $(X, Y, Z)_{VT}$.

By introducing the plane parameters α, β and δ and the coordinates of the vertices as unknowns into the adjustment, the building model planes can be corrected in case there are tie points that indicate such a change. Estimated changes for model planes are reflected by the parameters α, β and δ . The transformation parameters of the local plane coordinate systems R and P_0 are constants in the adjustment. As the planes are connected by the vertices, the model

plane topology is not changed. Vertices will move according to the planes they are connected to. The size of this movement is limited by the a-priori standard deviations of vertex coordinates.

In contrast to our previous work, the hybrid adjustment is made robust w.r.t. gross errors in the observations. Outliers are detected by an iterative reweighting of the observations based on their normalised residuals $\tilde{v}_i = \frac{|v_i|}{\sigma_i}$, where σ_i is the a-priori standard deviation of the corresponding observation. It is the goal of reweighting to reduce the weights of observations that have large normalised residuals. We use the iteration scheme recommended by FÖRSTNER/WROBEL [2016] which consists of the Huber weight function for the first iterations, then iterates using the exponential weight function to reduce the weight of potential outliers and ends with an adjustment with the original weights after having eliminated the outliers. An observation is identified as an outlier and removed if its normalised residual \tilde{v}_i is larger than three.

We assign tie points to planes of the building model based on their estimated 3D positions, computed in a structure-from-motion pipeline and a first robust adjustment without taking into account the building model. After this bundle adjustment, we make sure, that the two data sets (the 3D point cloud of tie points and the building model) refer to a common coordinate system (see section 5 for details).

4. Assignment of tie points to model planes

The focus of this work lies in finding the assignments of tie points to model planes, given the inaccurate image poses and the generalised building model, to generate the first group of fictitious observations.

In this section, two strategies for the assignment of tie points to model planes are discussed. The first one uses a simple distance criterion; the second strategy is based on finding planes in the tie point cloud and matching these planes to the planes of the building model.

The second strategy can be executed in two different variants: the first variant extracts planes from the whole point cloud independent of the building model. Planes thus detected are matched to those of the model. The second variant uses the model planes as input and considers only points in the vicinity of a model plane in order to find a corresponding extracted plane; explicit plane matching is thus avoided.

4.1 Point-to-model matching: The direct approach

In our previous work, the assignment of a point to a plane was based on a simple distance criterion. Tie points were assumed to be related to the closest plane provided that the Euclidean distance from the plane was below a threshold. This threshold was selected in accordance with the accuracy and degree of generalisation of the building model and potential datum problems of the point cloud. It was chosen to be relatively large. As a result, many wrong assignments of tie points to model planes were found that led to wrong results.

We therefore decided to refine this strategy by separating the initial datum effects from those mainly stemming from the generalisation, and solving for the datum in a first processing step (see section 5). Thus now we can use a significantly reduced threshold for the Euclidean distance of tie points to the model planes; it is set in accordance with the size of the generalisation effects we expect to occur. We

use the same value as for the a-priori standard deviation of the fictitious observations that relate tie points to model planes.

4.2 Plane-to-model matching: The indirect approach

This is an alternative strategy to first search for planes, referred to as *extracted planes*, in the tie point cloud instead of directly relating tie points to model planes. The aim is to find model planes that correspond to the extracted planes. Based on these plane-to-model correspondences, tie points are assigned to model planes: If a corresponding plane is found, a point belonging to the extracted plane leads to a fictitious observation that relates this tie point to the corresponding model plane.

For both variants mentioned above, planes are detected in the tie point cloud using Maximum Likelihood Estimation SAmple Consensus (MLESAC) [TORR/ZISSERMAN, 2000]. MLESAC is a variant of RANSAC that does not just maximise the number of inliers but rather maximises their likelihood. The algorithm requires the maximum allowable distance of points to a plane as a parameter. The proportion of outliers is automatically estimated by the algorithm.

First variant:

In the first variant, MLESAC is used on the whole point cloud. We sequentially extract a plane, exclude the inliers with respect to connected components from the given point cloud of 3D tie points and then search for the next plane in the remaining point cloud. This is done until a given number of planes has been found, no more planes are found or the number of points found per plane is repeatedly smaller than a threshold.

We allow for multiple extracted planes per model plane. This reflects the fact that only parts of a larger generalised model plane might be found in the tie point cloud. In order to do so, for each plane thus detected, the related points are projected onto that plane and connected components are found using alpha shapes [EDELBRUNNER *et al.*, 1983] with a given radius ϑ_α that defines the maximum distance of points to the shape. Points which are part of the largest connected component are kept as inliers and are then used to determine the plane parameters. The points of the boundary of the connected component in the refined extracted plane define its boundary polygon.

In the next step, correspondences between the extracted planes and the model planes are found. We check each combination of an extracted plane and a model plane for correspondence. For each such pair,

we compute the angle between the normal vectors and the orthogonal distance of the centre of gravity (COG) of the boundary points of the extracted plane from the model plane. Both the angle and the distance must be smaller than pre-defined thresholds for the pair to become a candidate for a correspondence. Another criterion to be fulfilled is that the polygon and the model plane must overlap. To check this requirement the COG of the boundary points of the extracted plane is projected to the model plane. If the projection of the COG is outside the boundary polygon of the model plane the candidate is eliminated.

In a last step, tie points of extracted planes are eliminated if their orthogonal projection onto the matching model plane falls outside the model plane's boundary polygon. Tie points inside the boundary of the model plane finally lead to fictitious observations that relate those points to the corresponding model plane.

Second variant:

In the second variant, no separate matching step is required, because for each plane a corresponding extracted plane is searched for in the points in its vicinity only. For each model plane, we extract all points having a distance to that plane smaller than a given threshold and a projection onto the model plane that is inside the model plane boundary. The parameters of an extracted plane are then computed using MLESAC. To further reduce the search space, MLESAC is configured to only find planes with normal vectors that do not exceed a given angular distance to the normal of the model plane. Similar to the first variant, only points of the largest connected component and inside the planes boundary polygon are kept and are assumed to correspond to the model plane. These points lead to the fictitious observations relating tie points to model planes.

5. Processing steps

Our overall workflow is listed in table 1. The first step is a structure-from-motion pipeline in which homologous points and initial values for image poses and 3D object point coordinates are derived. This is done using an image sequence and, if available, GNSS observations for the projection centre positions of the images as inputs. Subsequently, we run a robust bundle adjustment including the images and GNSS observations without considering the building model (step 2). In this adjustment process, gross errors in the image observations are identified and eliminated. Image poses and tie point coordinates are refined. In subsequent steps, image observations are not tested for more gross errors. In this way, we separate outliers in the image coordinates of homologous points from those in the fictitious observations of tie points that are found in subsequent steps. Thus, we make sure that wrong fictitious observations do not lead to the elimination of potentially correct image observations. We assume the GNSS observations to be sufficient to define the datum of the image block in these first two steps.

In step 3, the building model is considered for the first time. It must be available in the same coordinate system as the results of step 2. In our workflow this is the GNSS coordinate system, but the datum of the initial image block might be inaccurate due to using the low-cost GNSS receiver. Step 3 has to account for this and consists of the first assignment of tie points to model planes based on their estimated 3D positions from step 2 and the initial plane parameters to set up the fictitious observations. This is done following one of the approaches from section 4. For the direct approach, the threshold for the Euclidean distance of tie points to model planes is set to the size of the expected initial datum differences. For the indirect approaches, the same thresh-

Table 1: Workflow of pose estimation.

Step 1	Image matching and SFM to derive tie points and image poses.	
Step 2	Robust bundle adjustment including only images and, if available, direct observations of projection centres.	
Step 3	Initial establishment of relations between tie points and model planes with one of the assignment methods.	
	Step 4	Hybrid bundle adjustment including the planes, robust with respect to fictitious observations for tie points on model planes.
	Step 5	Establishment of relations between tie points and model planes using one of the assignment methods.
Step 6	Final hybrid adjustment.	

olds as in subsequent steps are used. The known relations of vertices to planes form the second group of fictitious observations which are not changed during subsequent steps.

Steps 4 and 5 are then applied in a repeated way: In step 4, one iteration of the hybrid robust adjustment is carried out. In step 5, tie points are assigned to model planes based on the estimated parameters of step 4 using one of the approaches described in section 0. For the direct approach, the threshold is now set to the a-priori standard deviation of the fictitious observations that relate tie points to model planes. The indirect approaches use the same thresholds as in step 3. The assignments are then used to update the fictitious observations. Steps 4 and 5 are carried out in an alternating fashion until convergence of the adjustment. Note that in step 4 only planes containing more than a pre-defined minimum number of tie points are considered in the adjustment.

Finally, in step 6, fictitious observations identified as outliers are removed and the remaining fictitious observations are kept to run the hybrid adjustment with the original weights to compute the final results.

6. Experiments

The sequence for our experiments was captured by a gimbal-stabilised camera attached to our UAS, a manually controlled DJI Matrice 100 quadcopter, during a flight in between buildings of our campus. The buildings are 4 to 30 m high and the flying height above ground varied between 20 m in the beginning and 2 m at the end of the flight.

We used a Zenmuse X3 camera. It has a fixed focus, 3.61 mm focal length and a 1/2.3" CMOS sensor having 4000 x 3000 pixels and a pixel size of 1.5 μm . Images were taken automatically every 2 seconds. The image sequence consists of 183 images with an average ground sampling distance of 6 mm/pix. In the process we use direct GNSS observations for the projection centres of the first 30 images only to show that our method can cope with such a configuration.

A 3D city model with Level of Detail 2 (LoD 2), freely available for the whole city of Hanover, is used as ground control information. Like the GNSS observations, the model is given in WGS84/UTM Zone 32. The GNSS observations delivered by the copter are pre-processed internally, most probably with a filter that includes IMU and barometric measurements (details of this process are not available).

Image distortion was eliminated prior to processing based on available interior orientation para-

eters. We used the commercial software package Agisoft PhotoScan² for steps 1 and 2, considering only the first 30 GNSS observations for the positions of the projection centres. On average, each tie point was observed in almost six images. The viewing direction is almost orthogonal to the flight direction and the facades. The image coordinates of the homologous points serve as observations and the estimated camera poses and object point coordinates as initial values for our adjustment. We only consider observations of points that are observed in at least three images. Although the adjustment carried out by PhotoScan is robust, we found that some of the exported observations still fall in the group of outliers, since we use stricter constraints. Therefore, we repeat step 2 with our own robust bundle adjustment before going on with the remaining steps.

The a-priori standard deviations of the observation types that form the stochastic model are set as follows:

image coordinates	σ_{img}	± 0.75 pix
GNSS observations of projection centres	σ_{GNSS}	± 3 m
building model vertices	σ_{VT}	± 0.5 m
fictitious distance for tie points	σ_{dTP}	± 0.3 m
fictitious distance for vertices	σ_{dVT}	± 0.01 m

σ_{VT} reflects the accuracy and generalisation effects of the vertices of the building model. σ_{dTP} describes the deviation of the model planes due to the generalisation.

In the iterations of the hybrid adjustment (steps 4 and 5), for the direct approach of tie point assignment, we choose to take into account fictitious distances for points to planes only if the distance is smaller than 0.3 m. As described before, this threshold is chosen in accordance with the expected degree of generalisation of the model σ_{dTP} . In step 3, the initialisation, we use a higher threshold of 2 m, because of the low GNSS accuracy to obtain as many correct assignments as possible with some outliers only.

For the indirect approach of tie point assignment, the following parameters are set. The distance for points to planes found using MLESAC is again set to 0.3 m according to σ_{dTP} . We use this value to be left with as few wrong fictitious observations as possible accepting, that only 68% of the points of a plane w.r.t. σ_{dTP} might be found. The radius to find

² <http://www.agisoft.com/>

connected components within extracted planes is set to $\vartheta_\alpha = 3$ m to allow for some larger plane regions with few tie points. The choice of ϑ_α is not critical as points outside the boundary polygon of model planes are rejected later. The maximum angle between normal directions of extracted and model planes is set to 15° . We thus allow for some differences in case of inaccurate initial values and especially for small planes or in case only small parts of planes are extracted. For the indirect approach without the reduced search space, the maximum distance of an extracted plane's COG to a model plane is chosen to be 1 m. For the variant with reduced search space, the maximum distance to consider points for extracting a corresponding plane also is set to 1 m. Both distance thresholds are used also in the initialisation phase (step 3), which is sufficient for our test data. With the 1 m distance at least some corresponding plane points are found even with inaccurate initial values. This distance is assumed to be large enough to find planes that are inaccurate in the model and have to be corrected within the adjustment based on tie point observations. For both approaches, planes are used only if at least 15 points are assigned to them. In our experience, the pose of planes described by fewer tie points often is not stable.

Figure 2 shows the captured scene with the 183 camera poses, 5701 tie points after step 2 and the generalised building model. GNSS for the projection centres was used only for the first 30 images in

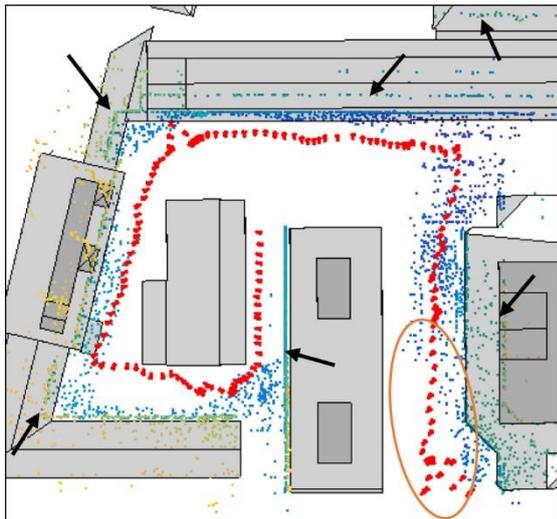


Fig. 2: Result of step 2 for a 150 m by 120 m building complex: LoD 2 model (grey), camera poses (red), tie points color coded by height from blue (low) to yellow (high). Differences of the tie point cloud to the model are highlighted by black arrows. GNSS was used only within the orange ellipse.

the beginning of the image sequence (lower right corner, orange ellipse). Shift, rotation and scale differences of the tie point cloud to the building model are highlighted with red arrows: Tie points forming vertical planes are off the model planes they should correspond with.

Table 2 shows some statistics of the robust adjustment (step 2) with just the images and GNSS observations (1. column) and the robust hybrid adjustment with the direct (2. column) and both indirect approaches (3. and 4. column; 4. column with reduced search space). With respect to the estimated mean standard deviations of the tie points $\hat{\sigma}_{TP}$, the integration of the building model in all variants leads to an improvement from meter range to about a decimetre. As planes are found for at least some tie points of each image, the $\hat{\sigma}_{TP}$ values are not split into tie points with and without a fictitious observation. There is almost no difference in the $\hat{\sigma}_{TP}$ as the whole image block profits from the planes. The numbers of found fictitious observations for tie points per approach show that the direct approach finds the most assignments. The indirect approach that searches the whole tie point cloud can only assign points to planes if it is able to extract the candidate plane. As not all planes are found by the MLESAC, the approach yields the lowest number of fictitious observations. Also, the indirect approach with reduced search space finds less points than the direct approach. The values for $\hat{\sigma}_{TP}$ for all three approaches are virtually identical.

The number of outliers does not change after the adjustment of step 2. This means that no detectable outliers were present in the fictitious observations of

Table 2: Results of the (hybrid) adjustment on the test sequence.

Approach	Images, GNSS	Direct	Indirect	Indirect, reduced
#images	183	183	183	183
$\hat{\sigma}_0$	0.70	0.67	0.68	0.68
$\hat{\sigma}_{TP_x}$ [m]	3.10	0.10	0.10	0.09
$\hat{\sigma}_{TP_y}$ [m]	3.33	0.09	0.10	0.09
$\hat{\sigma}_{TP_z}$ [m]	4.16	0.08	0.10	0.08
#fictitious observation tie points	0	3431	3026	3256
#object points	5701	6423	6423	6423
#observations	67485	74630	74225	74455
#unknowns	18201	21192	21192	21192
#outliers	487	487	487	487

any of the approaches. Potentially remaining wrong assignments can thus not be detected.

Figure 3 shows the resulting tie points and the estimated building model for the direct and for the indirect (reduced) approach. Points with the same colour belong to the same plane, while grey points are not assigned to any plane. Both results show no visible offsets like in figure 2. The initial building model is not shown as the differences can only be seen in higher zoom levels. Orange ellipses highlight planes that were found only using the indirect approach with reduced search space.

The indirect approach without reduced search space, which is not shown in the plot, finds fewer planes than the direct approach. The missed planes are either small or the points are scattered and are therefore not considered as part of the largest connected component. While fewer correspondences are found, the remaining correspondences are more likely correct as they must be part of a plane and its largest connected component. This means that isolated points are not accepted to correspond to a plane. Even if they are close to a plane, they have a higher probability to belong to structures not represented in the model in comparison to points which are part of a connected plane component. This behaviour can also be seen for the indirect approach with reduced search space as shown in figure 3, e.g. in the areas highlighted by black ellipses.

Another advantage of the approach without reducing the search space is that points which are part of extracted planes that were not matched to any

model plane are not assigned to the model. This is shown in figure 4, where a facade is represented as one plane in the model. In reality, it consists of a roof above doors and a ramp used for deliveries. These are detected as planes and points assigned to these planes are not assigned to any model plane. The figure also shows that the estimated model plane is hardly affected by rotations due to wrong assignments of, e.g., ground points.

7. Conclusion and Future Work

The presented method improves the pose estimation of an image sequence captured by an UAS by integrating a generalised building model into the adjustment. The integration is done based on fictitious observations that are found using a direct approach and two variants of an indirect method. The direct approach uses only a distance criterion, while the indirect approach extracts planes in the tie point cloud and matches them to the building model to generate fictitious observations. The pose estimation is carried out in a hybrid adjustment in which outliers in the homologous points and in the fictitious observations are handled separately.

Our experiments show that both approaches for generating the fictitious observations lead to an improvement of estimated tie points w.r.t. their estimated standard deviations. Significant differences between the different results were not found.

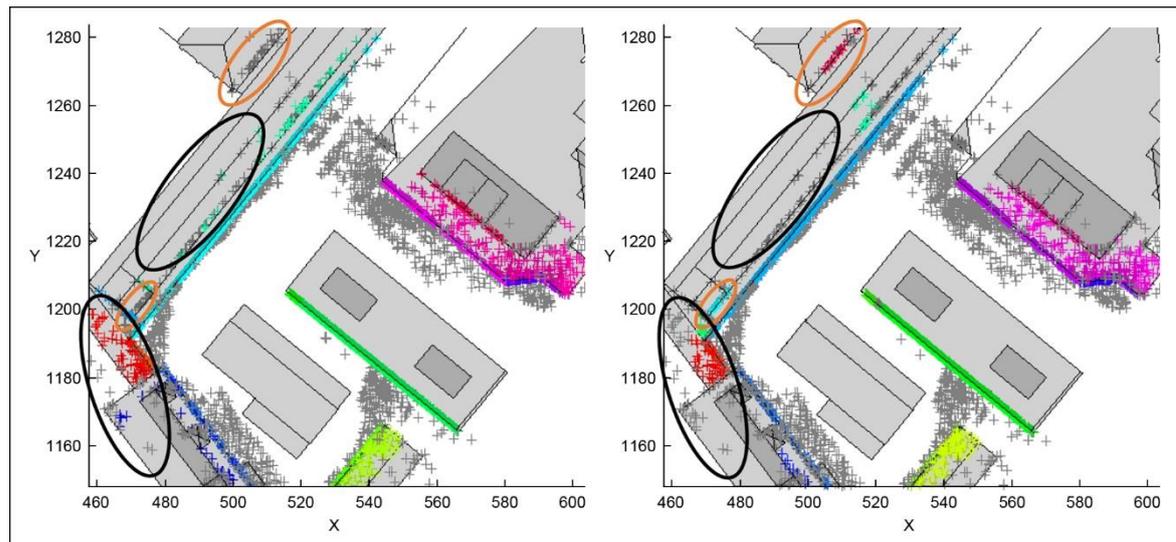


Fig. 3: Estimated tie points of the hybrid adjustment with the direct (left) and the indirect (reduced) approach (right) plotted with the estimated building models in top view. Points with the same color were assigned to the same model plane. Tie points that are not matched to a plane are shown in grey. Orange ellipses highlight planes, that were found only using the indirect approach. Black ellipses denote areas, where correspondences were rejected by the indirect approach.

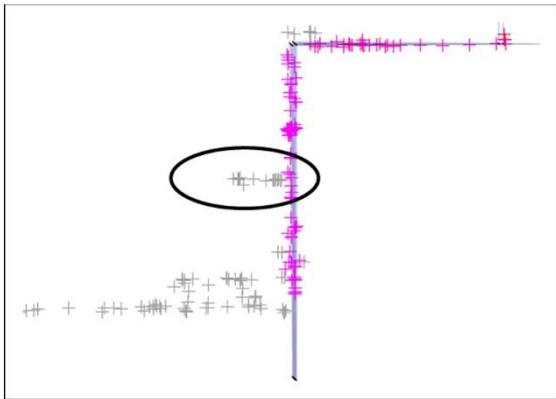


Fig. 4: Side view on a slice of a building shown in the initial (blue) and adjusted model (grey). Structures not represented by the model are well covered with tie points (e.g. the roof plane highlighted by the ellipse) and are not assigned to the model plane. The initial and the estimated model planes have very similar parameters.

One advantage of the plane-to-model matching is that it finds planar structures not represented in the model. These might be helpful to generate additional tie features in future. In addition, points close to these planes can be assumed to not belong to a close by model plane.

In our future work, we will evaluate the method on longer image sequences and with different facades. To further analyse the method, we will compare the estimated tie points and the estimated model to reference data e.g. using independent check points, a more detailed and accurate point cloud or a building model with higher level of detail. Also, we plan to analyse combinations of the assignment methods.

In addition, the stochastic model will be refined to separate systematic errors of the GNSS receiver from smaller random errors. This will be done by introducing global shifts and rotations that cover a systematic offset of the GNSS. Its relative accuracy can then be assumed to be more accurate than the one used in our current stochastic model.

Finally, while in this paper, we describe the method as a post-processing step, we see the potential to apply it incrementally in a real-time or near-real-time scenario which is needed e.g. for augmented reality or search and rescue applications.

References

- AVBELJ, Janja / IWASZCZUK, Dorota / MÜLLER, Rupert / REINARTZ, Peter / STILLA, Uwe [2015]: Coregistration refinement of hyperspectral images and DSM. An object-based approach using spectral information. – In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 100, pp. 23-34. ISSN: 0924-2716
- EDELSBRUNNER, Herbert / KIRCKPATRICK, David G. / SEIDEL, Raimund [1983]: On the shape of a set of points in the plane. – In: *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 29, Issue 4, pp. 551-559. ISSN: 0018-9448
- EUGSTER, Hannes / NEBIKER, Stephan [2009]: Real-time Georegistration of Video Streams from Mini or Micro UAS using Digital 3d City Models. – In: *MMT'09 Proceedings. 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology*, 21-24 July 2009, São Paulo, Brazil, 8 p. http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2009_MMT/_papers/009_Eugster_MMT09.pdf – letzter Aufruf: 17.01.2018
- FÖRSTNER, Wolfgang / WROBEL, Bernhard P. [2016]: *Photogrammetric Computer Vision. Geometry, Orientation and Reconstruction*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, XVII, 816 p. ISBN: 978-3-319-11550-4
- GERKE, Markus [2011]: Using horizontal and vertical building structure to constrain indirect sensor orientation. – In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66, Issue 3, pp. 307-316. ISSN: 0924-2716
- GEVA, Amir / BRISKIN, Gil / RIVLIN, Ehud / ROTSTEIN, Héctor [2015]: Estimating Camera Pose using Bundle Adjustment and Digital Terrain Model Constraints. – In: *INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) (Ed.): 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2015)*, Seattle, Washington, USA, 26-30 May 2015. IEEE, Piscataway, NJ, pp. 4000-4005. ISBN: 978-1-4799-6924-1
- HEIPKE, Christian / ALBERTZ, Jörg / ATTWENGER, Maria / BUCHROITHNER, Manfred / DORNINGER, Peter / DORRER, Egon / GEHRKE, Stephan / GWINNER, Klaus / LEHMANN, Hartmut / MAYER, Helmut / OSTROVSKIY, Alexey / PACHER, Gerold / RENTSCH, Matthias / SCHMIDT, Ralph / SCHOLTEN, Frank / SPIEGEL, Michael / STILLA, Uwe / NEUKUM, Gerhard UND DAS HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM [2005]: HRSC auf Mars-Express – Photogrammetrische und kartographische Auswertungen. – In: *Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv)*, 130. Jhrg., Heft 6, pp. 379-386. ISSN: 0044-3689
- LÄBE, Thomas / ELLENBECK, Karl Heiko [1996]: 3D-Wireframe Models as Ground Control Points for the Automatic Exterior Orientation. – In: *KRAUS, Karl / WALDHÄUSL, Peter (Eds.): XVIIIth ISPRS Congress, Technical Commission II: Systems for Data Processing, Analysis and Representation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXI-B2, pp. 218-223. ISSN: 1682-1750
- LERNER, Ronen / RIVLIN, Ehud / ROTSTEIN, Héctor P. [2006]: Pose and motion recovery from feature correspondences and a digital terrain map. – In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, Issue 9, pp. 1404-1417. ISSN: 0162-8828 (Print) ISSN: 2160-9292 (CD-ROM)
- LI-CHEE-MING, Julien / ARMENAKIS, Costas [2013]: Determination of UAS trajectory in a known environment from FPV Video. – In: *GRENZDÖRFFER, Görres / BILL, Ralf (Eds.): UAV-g2013*, 4-6 September 2013, Rostock, Germany. The International Archives of the Photogrammetry, Remote

- Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-1/W2, pp. 247-252.
eISSN: 2194-9034
- LI-CHEE-MING, Julien / ARMENAKIS, Costas [2017]:* Matching real and synthetic panoramic images using a variant of geometric hashing. – In: *HEIPKE, Christian / JACOBSEN, Karsten / STILLA, Uwe / ROTTENSTEINER, Franz / YILMAZ, Alper / YING YANG, Michael / SKALLOUD, Jan / COLOMINA, Ismael (Eds.):* ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17 – CMRT 17 – ISA 17 – EuroCOW 17, 6-9 June 2017, Hannover, Germany. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. IV-1/W1, pp. 199-206. ISSN: 2194-9042 (Print)
ISSN: 2196-6346 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9050 (Internet/USB)
- LOTHE, Pierre / BOURGEOIS, Steve / DEKEYSER, Fabien / ROYER, Eric / DHOME, Michel [2010]:* Monocular SLAM Reconstructions and 3D City Models: Towards a Deep Consistency. – In: *RANCHORDAS, Alpesh Kumar / PEREIRA, João Madeiras / ARAÚJO, Helder J. / TAVARES, João Manuel R. S. (Eds.):* Computer Vision, Imaging and Computer Graphics. Theory and Applications. International Joint Conference, VISIGRAPP 2009, Lisboa, Portugal, February 2009. Revised Selected Papers. Springer, Heidelberg, pp. 201-214. ISBN: 978-3-642-11839-5
- MCGLONE, J. Chris [1995]:* Bundle adjustment with object space geometric constraints for site modeling. – In: *MCKEOWN, David M. / DOWMAN, Ian J. (Eds.):* Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision II. SPIE's 1995 Symposium on OE/Aerospace Sensing and Dual Use Photonics, 17-21 April 1995, Orlando, FL, United States. Proceedings Vol. 2486. International Society for Optical Engineering (SPIE), Bellingham, Wash., pp. 25-36.
ISBN: 0-8194-1839-0
- PAJARES, Gonzalo [2015]:* Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). – In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 81, Issue 4, pp. 281-329.
ISSN: 0099-1112
- ROTTENSTEINER, Franz [2006]:* Consistent Estimation of Building Parameters Considering Geometric Regularities by Soft Constraints. – In: *FÖRSTNER, Wolfgang / STEFFEN, Richard (Eds.):* Symposium of ISPRS Commission III Photogrammetric Computer Vision PCV'06, September 20-22, 2006, Bonn, Germany. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-3, pp. 13-18.
ISSN: 1682-1750 (Print)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
- SPIEGEL, Michael [2007]:* Kombinierte Ausgleichung der Mars Express HRSC Zeilenbilddaten und des Mars Global Surveyor MOLA DGM. PhD Thesis, Technische Universität München. Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C (Dissertationen), Heft C-610, Bayerische Akademie der Wissenschaften/Beck in Komm., München, 100 p.
ISBN: 3-7696-5049-2
- STRUNZ, Günter [1993]:* Bildorientierung und Objektrekonstruktion mit Punkten, Linien und Flächen. PhD Thesis, Technische Universität München. Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C (Dissertationen), Heft C-408. Bayerische Akademie der Wissenschaften/Beck in Komm., München, 95 p.
ISBN: 3-7696-9453-8
- TORR, Philip H. S. / ZISSERMAN, Andrew [2000]:* MLESAC. A New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry. *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 78, Issue 1, pp. 138-156.
ISSN: 1077-3142
- UNGER, Jakob / ROTTENSTEINER, Franz / HEIPKE, Christian [2016]:* Integration of a generalised building model into the pose estimation of UAS images. – In: *HALOUNOVÁ, Lena / ŠAFÁŘ, Václav / TOTH, Charles K. / KARAS, Jakub / HUADONG, Guo / HAALA, Norbert / HABIB, Ayman / REINARTZ, Peter / TANG, Xinming / LI, J. / ARMENAKIS, Costas / GRENZ DÖRFFER, Görres / LE ROUX, Pierre / STYLIANIDIS, Efstratios / BLASI, R. / MENARD, M. / DUFOURMOUNT, Hans / LI, Z. (Eds.):* XXIII ISPRS Congress, Commission I, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLI-B1, pp. 1057–1064.
ISSN: 1682-1750 (Print)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9034 (Internet/USB)
- VYSOTSKA, Olga / STACHNISS, Cyrill [2017]:* Improving SLAM by Exploiting Building Information from Publicly Available Maps and Localization Priors. – In: *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), Journal for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Vol. 85, Issue 1, pp. 53-65.
ISSN: 1432-8364

Anschrift der Verfasser:

MSc. JAKOB UNGER,
Prof. Dr. techn. FRANZ ROTTENSTEINER,
Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE
Leibniz Universität Hannover
Institut für Photogrammetrie und Geoinformation
Nienburger Straße 1
D-30167 Hannover.

Anhang

zusammengestellt von

Uwe G. F. Kleim

Schriftenverzeichnis Prof. Wolfgang Reinhardt

(Stand: Dezember 2017)

A. Bücher und Sammelwerke

1. **Interaktiver Aufbau hochqualitativer digitaler Geländemodelle an photogrammetrischen Stereosystemen.**
Dissertation, Technische Universität München. Deutsche Geodätische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Heft 381, Beck in Komm., München, 1991, 79 S. ISBN: 3-7696-9427-9
2. **Kompaktstudium Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 18. bis 20. Mai 1998 an der Universität der Bundeswehr München.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 1998, 426 S.
[Herausgeber]
3. **Kompaktstudium 2. Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 10. bis 12. Mai 1999 an der Universität der Bundeswehr München.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 1999, 482 S.
[Herausgeber]
4. **GIS im Internet/Intranet: Grundlagen - Marktübersicht - Anwendungen.**
Lehrgang Nr. 24937/85.183, 22. und 23. November 1999, Ostfildern. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen, 1999, 315 Bl.
[Herausgeber]
5. **Kompaktstudium 3. Seminar „GIS im Internet/ Intranet“ vom 29. bis 31. Mai 2000 an der Universität der Bundeswehr München.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2000, 500 S.
[Herausgeber]
6. **4. Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 21. bis 23. Mai 2001 an der Universität der Bundeswehr München.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2001, 420 S.
[Herausgeber]
7. **Beiträge anlässlich des 65. Geburtstages von Wilhelm Caspary.**
Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2002, 152 S.
[Herausgeber, zusammen mit HANSBERT HEISTER]
8. **5. Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 06. bis 08. Mai 2002 an der Universität der Bundeswehr München. GIS – Internet/Intranet – Technologie ist zum Schlüsselfaktor für die wirtschaftliche Nutzung von GIS geworden.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2002, 456 S.
[Herausgeber]
9. **Raumbezogene Informationssysteme.**
Handbuch der Ingenieurgeodäsie, Band 2, herausgegeben von Michael Möser, Gerhard Müller, Harald Schlemmer, Hans Werner. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2003, 300 S. ISBN: 3-87907-294-9
[Herausgeber, zusammen mit GERHARD JOSS, HEINER KUHLMANN, ROLF MÜLLER-HERMES, BERND SCHMITT, STEFAN SEEBERGER und VOLKER WALTER]
10. **6. Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 06. bis 08. Mai 2003 an der Universität der Bundeswehr München. GIS – Internet/Intranet – Schlüsselfaktor für die wirtschaftliche Nutzung von GIS.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2003, 490 S.
[Herausgeber]
11. **7. Seminar „GIS & Internet“ vom 15. bis 17. September 2004 an der Universität der Bundeswehr München. Schlüsseltechnologien für alle.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2004, 430 S.
[Herausgeber]
12. **8. Seminar „GIS & Internet“ vom 07. bis 09. September 2005 an der Universität der Bundeswehr München. Schlüsseltechnologien für alle.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2005, 372 S.
[Herausgeber]
13. **9. Seminar „GIS & Internet“ vom 13. bis 15. September 2006 an der Universität der Bundeswehr München. Schlüsseltechnologien für alle.**
Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2006, 376 S.
[Herausgeber]
14. **10. Seminar „GIS & Internet“ vom 10. bis 12. September 2007 an der Universität der Bundeswehr München. GIS & Internet – Schlüsseltechnologien für alle.**

Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2007, 392 S.

[Herausgeber]

- 15. Leitfaden zur Entwicklung eines prozessorientierten Qualitätsmanagements für die Produktion von Netzinformationen in Versorgungsunternehmen.**

FQS-DGQ-Band 83-0, herausgegeben von der Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS), Frankfurt am Main, 2008, 98 S. + 1 CD-ROM.

ISBN: 978-3-940991-00-3

[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]

- 16. Geoinformatik 2009. 31. März - 02. April 2009, Osnabrück. Konferenzband.**

IfGI-prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 35, 2009, XI, 295 S.

ISBN: 978-3-89838-619-7

[Herausgeber, zusammen mit ANTONIO KRÜGER und MANFRED EHLERS]

- 17. Special Issue: Early warning and disaster management: the importance of geographic information (Part A).**

International Journal of Digital Earth, Vol. 3, Issue 3, 2010, S. 217-311.

ISSN: 1753-8947 (Druck)

ISSN: 1753-8955 (Online)

[Gasteditor, zusammen mit MILAN KONEČNÝ]

- 18. Special Issue: Early warning and disaster management: the importance of geographic information (Part B).**

International Journal of Digital Earth, Vol. 3, Issue 4, 2010, S. 313-318.

ISSN: 1753-8947 (Druck)

ISSN: 1753-8955 (Online)

[Gasteditor, zusammen mit MILAN KONEČNÝ]

- 19. 12. Seminar „GIS & Internet“. Integration von GIS-Funktionalitäten in Lösungen. Grundlagen – Technologien – Erfahrungsaustausch.**

Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 2010, 348 S.

[Herausgeber]

- 20. Advancing Geoinformation Science for a Changing World.**

Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2011, XIX, 538 S.

ISBN: 978-3-642-19788-8

[Herausgeber, zusammen mit STAN GEERTMAN und STEVEN DE JONG]

- 21. Arbeitspapier 3D-Volumenmodellierung in Straßenbauprozessen.**

FGSV Arbeitspapier 264. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ar-

beitsgruppe Straßenentwurf. FGSV-Verlag, Köln, 2011, 12 S.

ISBN: 978-3-941790-97-1

[zusammen mit M. AMRHEIN, HERMANN DONAT, H. MÖRTEL und L. RADTKE]

- 22. 8th European GIS Education Seminar, 6-9 September, 2012. GIS-education: Where are the boundaries? Seminar Proceedings.**

Katholieke Universiteit Leuven, 2012, 166 S.

ISBN: 978-90-8826-258-6

[Herausgeber, zusammen mit MARIANNE HUBEAU, MARINUS DE BAKKER, FRED TOPPEN, THÉRÈSE STEENBERGHEN und JOS VAN ORSHOVEN]

B. Wissenschaftliche Veröffentlichungen

- 1. A Program für Progressive Sampling for the Zeiss Planicomp.**

In: Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche an der Universität Stuttgart vom 19. bis 24. September 1983 – Proceedings of the 39th Photogrammetric Week at Stuttgart University September 19th-24th, 1983. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Band 9, 1984, S. 83-90.

- 2. Progressive Sampling and DEM Interpolation by Finite Elements.**

In: XVth ISPRS Congress, Technical Commission IV: Cartographic and Data Bank Applications of Photogrammetry and Remote Sensing. 17-29 June 1984, Rio de Janeiro, Brasil. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXV, Part A4, 1984, S. 125-134.

ISSN: 0256-1840

[zusammen mit HEINRICH EBNER]

- 3. Progressive Sampling and DEM Interpolation by Finite Elements.**

In: Bildmessung und Luftbildwesen (BuL), 52. Jhrg., 1984, S. 172-178.

ISSN: 0006-2421

[zusammen mit HEINRICH EBNER]

- 4. Determination of Changes in Volume and Elevation of Glaciers using Digital Elevation Models for the Vernagtferner, Ötztal Alps, Austria.**

In: *STREM, G. (Ed.):* Proceedings of the Symposium on Glacier Mapping and Surveying held in Reykjavik, Iceland, 26-29 August 1985. Annals of Glaciology, Vol. 8, 1985, S. 151-155.

ISSN: 0260-3055

[zusammen mit HERMANN RENTSCH]

- 5. Optical Superimposition as Tool for DEM Quality Control.**
In: ISPRS Technical Commission IV Symposium, Edinburgh, 1986. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVI, Part 4, 1986, S. 207-215.
ISSN: 0256-1840
- 6. Verification of DTM Data Acquisition and Digital Contours by Means of Optical Superimposition.**
In: ASPRS-ACSM Annual Convention, Technical Papers, 1987, Vol. 5, S. 82-88.
[zusammen mit HEINRICH EBNER]
- 7. Digitale Geländemodelle – Neue Entwicklungen und Möglichkeiten.**
In: Bildmessung und Luftbildwesen (BuL), 55. Jhr., 1987, S. 175-194.
ISSN: 0006-2421
[zusammen mit GABRIELE DÜSEDAU, RAINER HÖSSLER und R. THIEMANN]
- 8. On-Line Verification of DTM Data by Means of Optical Superimposition.**
In: *JACOBI, Ole / FREDERIKSEN, Poul (Eds.):* Proceedings of the International Colloquium Progress in Terrain Modelling, Technical University of Denmark, 20-22 May 1987, S. 249.
- 9. On-Line Generation and Verification of Digital Terrain Models.**
In: XVIth ISPRS Congress, Technical Commission III: Mathematical Analysis of Data. July 1-10, 1988, Kyoto, Japan. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVII, Part B3 (B11), 1988, S. 546-555.
ISSN: 0256-1840
- 10. Generation, Management and Utilization of High Fidelity Digital Terrain Models.**
In: XVIth ISPRS Congress, Technical Commission III: Mathematical Analysis of Data. July 1-10, 1988, Kyoto, Japan. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVII, Part B3 (B11), 1988, S. 556-566.
ISSN: 0256-1840
[zusammen mit HEINRICH EBNER UND RAINER HÖSSLER]
- 11. Beiträge der Rasterdatenverarbeitung zum Aufbau digitaler Geländemodelle.**
In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 114. Jhr., Heft 6, 1989, S. 268-278.
ISSN: 0006-2421
[zusammen mit HEINRICH EBNER UND LIANG TANG]
- 12. Interactive Generation of Digital Terrain Models.**
In: Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche an der Universität Stuttgart vom 11. bis 16. September 1989 – Proceedings of the 42nd Photogrammetric Week at Stuttgart University September 11th-16th, 1989. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Band 13, 1989, S. 129-139.
ISSN: 0006-2421
[zusammen mit RAINER HÖSSLER]
- 13. Zur Integration von digitalen Geländemodellen in Geo-Informationssysteme.**
In: *SCHILCHER, Matthäus (Hrsg.):* Geo-Informatik. Anwendungen, Erfahrungen, Tendenzen. Beiträge zum internationalen Anwenderforum 1991 Geo-Informationssysteme und Umweltinformatik, Duisburg, 20. bis 21. Februar 1991. Siemens-Nixdorf, Berlin/München, 1991, S. 107-118.
ISBN: 3-8009-1599-5
- 14. Topological Data Structures for Processing Advanced Application Tasks Using SICAD.**
In: *HARTS, Janjaap / OTTENS, Henk F. L. / SCHOLTEN, Henk, J. (Hrsg.):* EGIS '92. Conference Proceedings. Third European Conference on Geographical Information Systems, Munich – Germany, March 23-26, 1992, Vol. II. EGIS Foundation, Utrecht/Amsterdam, 1992, S. 1337-1344.
ISBN: 90-73414-09-1
[zusammen mit HONGGUANG YANG]
- 15. Combined Raster and Vector Processing for Environmental Applications Using SICAD.**
In: Geo-Informationssysteme, 5. Jhr., Heft 1, 1992, S. 24-32.
ISSN: 0935-1523
[zusammen mit T. SPEER und HONGGUANG YANG]
- 16. Entwicklungsstrategie moderner GIS-Produkte am Beispiel SICAD. The Development Strategy of Modern GIS Products – The example of SICAD.**
In: 3. Internationales Anwenderforum, Duisburg, 3. und 4. März 1993. Geoinformationssysteme – Neue Perspektiven. 3rd International Users Forum, Duisburg, March 3rd and 4th, 1993. Geographical Information Systems – New Perspectives. Siemens-Nixdorf, München, 1993, S. 53-71.
[zusammen mit MATTHÄUS SCHILCHER]
- 17. Data Analysis in Geographical Information Systems in Combination with Integrated Digital Terrain Models.**
In: *HARTS, Janjaap / OTTENS, Henk F. L. / SCHOLTEN, Henk, J. (Hrsg.):* EGIS '93. Conference Proceedings. Fourth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems, Genoa - Italy, March 29 - April 1,

- 1993, Vol. II. EGIS Foundation, Utrecht/Amsterdam, 1993, S. 1341-1349.
ISBN: 90-73414-12-1
[zusammen mit ANTON PFANNENSTEIN]
- 18. Stand und Bedeutung der GIS-Technologie für Netzinformationssysteme.**
In: *SIEMENS-NIXDORF (Hrsg.): Internationale Informationstagung für die Führungsebene der Energieversorgungsunternehmen.* Travemünde, 1993.
- 19. Entwicklungsstrategie moderner GIS-Produkte am Beispiel von SICAD/open.**
In: *Geo-Informationssysteme*, 6. Jhrg., Heft 1, 1993, S. 2-8.
ISSN: 0935-1523
[zusammen mit MATTHÄUS SCHILCHER]
- 20. Zur Bedeutung von räumlichen Abfragegesprächen in Geo-Informationssystemen.**
In: *EBNER, Heinrich / HEIPKE, Christian / EDER, Konrad (Hrsg.): ISPRS Commission III Symposium Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision*, September 5-9, 1994, Munich, Germany. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 3/2. Bellingham, Washington, 1994, S. 697-703.
ISSN: 0256-1840
[zusammen mit B. BAHNE UND ANTON PFANNENSTEIN]
- 21. Die Rolle unterschiedlicher Geo-Clients in einer modernen Geo-Client-/Geo-Server-Umgebung.**
In: *Proceedings on line 95.*
- 22. SICAD/open – das moderne GIS-Vollsystem und seine Stellung innerhalb der SICAD-GIS-Familie.**
In: *4. Internationales Anwenderforum 1995, Geoinformationssysteme im Wandel*, 22. und 23. Februar 1995, Universität Duisburg. *4th International User Forum 1995, The Changing Face of Geoinformation Systems*, February 22nd and 23rd, 1995, University of Duisburg. Keuck, Straelen, 1995, S. 97-104.
ISBN: 3-923480-19-9
- 23. GIS-Technologie für den Einsatz im Umfeld von ATKIS.**
In: *KOPHSTAHL, Erwin / SELLGE, Hartmut (Hrsg.): Das Geoinformationssystem ATKIS und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung. Vorträge anlässlich des 2. AdV-Symposiums ATKIS am 27. und 28. Juni 1995 in Hannover.* Niedersächsisches Landesverwaltungsamt, Landesvermessung, Hannover, S. 101-109.
ISBN: 3-89435-989-7
- 24. New Developments in GIS.**
In: *KONEČNÝ, Gottfried (Hrsg.): Workshop „Current Status and Challenges of Geoinformation Systems“*, Working Group on GIS/LIS of the International Union for Surveys and Mapping (IUSM), Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover, Germany, Sept. 25-28, 1995, Proceedings. Hannover, 1996, S. 17.
- 25. State of the Art GIS-Technology for Cadastre and Land Information Systems.**
In: *RUMOR, Massimo / MCMILLAN, R. / OTTENS, Henk F. L. (Hrsg.): Geographical Information. From Research to Application through Cooperation*, Vol. 2. Second Joint European Conference (JEC) & Exhibition on Geographical Information, Barcelona, Spain, 1996. IOS Press, Amsterdam/Oxford/Tokyo/Washington, 1996, S. 1017-1023.
ISBN: 90-5199-268-8
ISBN: 4-274-90098-3
- 26. Digitale Geodaten für Kataster und andere Anwendungen – Datenbereitstellung, Datenmodelle, Standards und GIS-Applikationen.**
In: *KONEČNÝ, Milan (Hrsg.): GIS frontiers in business and science and ICA map use commission session. Conference proceedings*, Brno, Czech Republic, April 20-24, 1996. Masaryk University and Foresbank GIS Serie. Masaryk University, Brno, 1996.
ISBN: 80-21013-30-3
- 27. Digitale Luftbilder zur Aktualisierung von GIS Daten. On the Content of Digital Aerial Imagery for GIS Data Base Revision.**
In: *KRAUS, Karl / WALDHÄUSL, Peter (Hrsg.): XVIIIth ISPRS Congress, Technical Commission IV: Mapping and Geographic Information Systems*, July 9-19, 1996, Vienna, Austria. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, 1996, S. 231-236.
ISSN: 0256-1840
[zusammen mit AXEL ENGLISCH, CHRISTIAN HEIPKE und MATTHIAS EBNER]
- 28. Digital Photogrammetry Joins GIS – A Powerful Combination.**
In: *KRAUS, Karl / WALDHÄUSL, Peter (Hrsg.): XVIIIth ISPRS Congress, Technical Commission IV: Mapping and Geographic Information Systems*, July 9-19, 1996, Vienna, Austria. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, 1996, S. 553-556.
ISSN: 0256-1840
[zusammen mit WERNER MAYR]

- 29. SICAD-LM: Standardapplikation Kataster – Leistungsmerkmale und Vorteile.**
In: 5. Internationales Anwenderforum 1997 für Geoinformationssysteme. Geo-Infosysteme weltweit, 26. und 27. Februar 1997, Universität Duisburg. Siemens-Nixdorf, München, 1997, S. 239-246.
- 30. Datawarehouse auf dem Geodesk.**
In: *SCHILCHER, Matthäus (Hrsg.):* Tagungsband, Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1997. Technische Universität München, Dienstag, 11. März 1997 bis Donnerstag, 13. März 1997. TU München, München, 1997, Vortrag 26.
ISBN: 3-935049-95-1
[zusammen mit HUBERT FÜNFER]
- 31. GIS im Internet – Evolution, Revolution oder Schlagwort?**
In: EBIT-Fortbildungsseminar, Bernried, 1997.
- 32. Kriterien zur Systemauswahl.**
In: *CASPARY, Wilhelm (Hrsg.):* Aufbau und Einsatz von Geo-Informationssystemen. Lehrgang Nr. 22782/85.154, 10. und 11. November 1997. Ostfildern. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen, 1997, Vortrag 7, 40 S.
- 33. Einführung eines GIS.**
In: *CASPARY, Wilhelm (Hrsg.):* Aufbau und Einsatz von Geo-Informationssystemen. Lehrgang Nr. 22782/85.154, 10. und 11. November 1997. Ostfildern. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen, 1997, Vortrag 8, 25 S.
- 34. Some Examples of the Usage of Internet/Intranet Technology in GIS.**
In: International Conference on Interoperating Geographic Information Systems INTEROP '97, Santa Barbara, California, USA, December 3-4, 1997, S. 294-295.
- 35. Dreidimensionale Landschaftsmodellierung und Visualisierung.**
In: *SCHRENK, Manfred (Hrsg.):* Computergestützte Raumplanung. Beiträge zum Symposium CORP'98 vom 11. bis 13. Februar 1998 an der Technischen Universität Wien, Band 2. Institut für EDV-Gestützte Methoden in Architektur und Raumplanung, TU Wien, Wien, 1998, S. 385-390.
ISBN: 3-901673-02-4
[zusammen mit LOTHAR KOPPERS]
- 36. Entwicklungstendenzen der GIS-Technologie.**
In: *SCHILCHER, Matthäus (Hrsg.):* Tagungsband, 3. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1998. Technische Universität München, Dienstag, 10. März 1998 bis Donnerstag, 12. März 1998. München, 1998, Vortrag 2, 14 S.
ISBN: 3-935049-96-X
- 37. GIS im Internet – Möglichkeiten, Bewertung, Perspektiven.**
In: *REINHARDT, Wolfgang (Hrsg.):* Kompaktstudium Seminar „GIS im Internet/Intranet“ vom 18. bis 20. Mai 1998 an der Universität der Bundeswehr München. Universität der Bundeswehr München, AGIS, Neubiberg, 1998, Vortrag 6 (6 S.).
- 38. GIS im Internet – Möglichkeiten, Perspektiven, Beispiele.**
SAVE Arbeitskreis Geo-Informationssysteme. Leipzig, 1998.
- 39. Ziele und Stand der „Open-GIS“-Initiative.**
In: 5. Benutzertreffen von M.O.S.S. am 03./04. November 1998 im Forum der Technik, München. Zusammenstellung der Vorträge. M.O.S.S., München, 1998, Vortrag 2, 22 S.
- 40. Das Projekt "Open ALKIS".**
In: *BOCK, Mathias / GREVE, Klaus / KUHN, Werner (Hrsg.):* Offene Umwelteinformationssysteme – Chancen und Möglichkeiten der OpenGIS-Entwicklung im Umweltbereich. Ergebnisse des BLAK UIS Workshops. IfGI-prints, Band 7. Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 1999, S. 139-145.
ISBN: 3-927889-31-8
- 41. GIS im Internet/Intranet – Technische Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten in der öffentlichen Verwaltung.**
In: *INSTITUTE FOR INTERNATIONAL RESEARCH (IIR) Hrsg.):* 6. Internationale I.I.R. GISnet'99. Geoinformationssysteme '99. Das unabhängige Praxisforum für Anwender. 23.-25. Februar 1999, Kurhaus Wiesbaden, 1999, Vortrag 16, 14 S.
- 42. Stand und Ziele der Open-GIS-Initiative und Ergebnisse des Forschungsprojektes OpenALKIS.**
In: *SCHILCHER, Matthäus (Hrsg.):* Tagungsband, 4. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1999. Technische Universität München, Mittwoch, 10. März 1999 bis Freitag, 12. März 1999. TU München, München, 1999, Vortrag 15, 14 S.
ISBN: 3-935049-97-8

- 43. GIS-Internet-Architekturen.**
In: *DADE, Christian / SCHULZ, Bernhard (Hrsg.):* Management von Umweltinformationen in vernetzten Umgebungen. 2. Workshop des Arbeitskreises „Hypermedia im Umweltschutz“ der Gesellschaft für Informatik (GI), 8. Workshop der Fachgruppe „Betriebliche Umweltinformationssysteme“ der Gesellschaft für Informatik (GI), Nürnberg 1999. Metropolis Verlag, Marburg, 1999, S. 203-210.
ISBN: 3-89518-237-0
[zusammen mit KRISTIN LEUKERT und STEFAN SEEBERGER]
- 44. Geoinformationssysteme – Chancen in der Informationsgesellschaft.**
In: Mitteilungsblatt des DVW-Bayern, 51. Jhrg., Heft 3, 1999, S. 249-263.
ISSN: 0723-6336
- 45. GIS und Internet/Intranet – Einleitung und Überblick.**
In: *REINHARDT, Wolfgang (Hrsg.):* GIS im Internet/Intranet: Grundlagen – Marktübersicht – Anwendungen. Lehrgang Nr. 24937/85.183, 22. und 23. November 1999, Ostfildern. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen, 1999, Vortrag 1, 30 Bl.
- 46. GIS und Internet/Intranet – Überblick über vorhandene Lösungen.**
In: *REINHARDT, Wolfgang (Hrsg.):* GIS im Internet/Intranet: Grundlagen – Marktübersicht – Anwendungen. Lehrgang Nr. 24937/85.183, 22. und 23. November 1999, Ostfildern. Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen, 1999, Vortrag 6, 28 Bl.
- 47. GIS-Internet Architekturen.**
In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 125. Jhrg., Heft 1, 2000, S. 23-28.
ISSN: 0340-4560
[zusammen mit KRISTIN LEUKERT und STEFAN SEEBERGER]
- 48. Investigations into the Accuracy on the Topographical Maps of the Alpenverein.**
In: *BUCHROITHNER, Manfred (Ed.):* High Mountain Cartography 2000. Proceedings of the Second Symposium of the Commission on High Mountain Cartography of the International Cartographic Association held at the Alpine Centre Rudolfshütte, Austria, from 29 March to 2 April 2000. Kartographische Bausteine, Band 18. Institut für Kartographie, Technische Universität Dresden, Dresden, 2000, S. 99-104.
ISBN: 3-86005-265-9
[zusammen mit KURT BRUNNER und MARKUS PENZKOFER]
- 49. GIS im Internet/Intranet.**
In: Mitteilungsblatt des DVW-Bayern, 52. Jhrg., Heft 4, 2000, S. 385-388.
ISSN: 0723-6336
[zusammen mit WILHELM CASPARY]
- 50. ALOIS – Ein integriertes Lokortungssystem.**
In: *SCHNÄDELBACH, Klaus / SCHILCHER, Mathäus (Hrsg.):* Ingenieurvermessung 2000. XIII. International Course on Engineering Surveying. Beiträge / Contributions. Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart, 2000, S. 329-333.
ISSN: 234-87643
[zusammen mit HANSBERT HEISTER, SIMON MUSÄUS, LOTHAR KOPPERS und OLIVER PLAN]
- 51. ALOIS – Allgemeines Lokortungssystem.**
In: Hochschulkurier der Universität der Bundeswehr München, Nr. 8, 2000.
ISSN:1436-3933
[zusammen mit LOTHAR KOPPERS, HANSBERT HEISTER, SIMON MUSÄUS und OLIVER PLAN]
- 52. On the Use of Internet Technology in GIS Education.**
In: *KING, Bruce (Ed.):* Proceedings of the International IT Conference on Geo-Spatial Education, 6th-8th July 2000, The Hong Kong Conference and Exhibition Centre. Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2000.
ISBN: 962-367-281-0
- 53. The Extraction of GIS Features from High Resolution Imagery Using Advanced Methods Based on Additional Context Information – First Experiences.**
In: *FRITSCH, Dieter / MOLENAAR, Martien (Eds.):* XIXth ISPRS Congress. Technical Commission IV: Mapping and Geographic Information Systems, July 16-23, 2000, Amsterdam, The Netherlands. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B4, Supplement, 2000, S. 51-58.
ISSN: 1682-1750
[zusammen mit PETER HOFMANN]
- 54. GIS-Internet Architectures.**
In: *FRITSCH, Dieter / MOLENAAR, Martien (Eds.):* XIXth ISPRS Congress. Technical Commission IV: Mapping and Geographic Information Systems, July 16-23, 2000, Amsterdam, The Netherlands. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B4, 2000, S. 572-578.
ISSN: 1682-1750
[zusammen mit KRISTIN LEUKERT]
- 55. Generation and Update of VMap Data using Satellite and Airborne Imagery.**
In: *FRITSCH, Dieter / MOLENAAR, Martien (Eds.):* XIXth ISPRS Congress. Technical Commission IV: Mapping and Geographic Information Systems, July 16-23, 2000, Amsterdam, The

- Netherlands. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B4, 2000, S. 762-768.
ISSN: 1682-1750
[zusammen mit TIMM OHLHOF, THOMAS EMGE, KRISTIN LEUKERT, CHRISTIAN HEIPKE und KIAN PAKZAD]
- 56. ALOIS – An Integrated Train Positioning and Informationsystem.**
In: *SCHNIEDER, Eckehard / BECKER, Uwe (Eds.): Transportation Systems. Preprints of the 9th IFAC Symposium, Braunschweig, Germany, 13-15 June 2000, Vol. II. Pergamon, Elsevier Science, Oxford/New York/Tokyo, 2001, S. 401-406.*
ISBN: 0-08-043552-1
[zusammen mit SIMON MUSÄUS, HANSBERT HEISTER, LOTHAR KOPPERS und OLIVER PLAN]
- 57. Untersuchungen zur Genauigkeit von Alpenvereinskarten.**
In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 126. Jhrg., Heft 1, 2001, S. 5-10.
ISSN: 0340-4560
[zusammen mit MARKUS PENZKOFER und KURT BRUNNER]
- 58. Zur Bedeutung der Internet-Technologie in Geoinformationssystemen.**
In: XI. Internationale Geodätische Woche Oberurgl 2001, Fachvorträge. Institutsmittellungen des Instituts für Geodäsie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Heft 19, 2001, S. 81-88.
- 59. Concept of a GIS and Location Based Services for Mountaineers.**
In: *KONEČNÝ, Milan / FRIEDMANNOVA, Lucie / GOLAN, Jiri / KOLAR, Miroslav (Eds.): GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive. 4th AGILE Conference on Geographic Science, April 19-21, 2001, Brno, Czech Republic. Masaryk University, Brno, 2001, S. 198-202.*
ISBN: 80-210-2579-4
[zusammen mit GERHARD JOOS]
- 60. Management of Spatial Features with GML.**
In: *KONEČNÝ, Milan / FRIEDMANNOVA, Lucie / GOLAN, Jiri / KOLAR, Miroslav (Eds.): GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive. 4th AGILE Conference on Geographic Science, April 19-21, 2001, Brno, Czech Republic. Masaryk University, Brno, 2001, S. 370-375.*
ISBN: 80-210-2579-4
[zusammen mit SHI WEI und GERHARD JOOS]
- 61. GIS and Location Based Services for Mountaineers –**
Concept and Prototyp Realization.
In: Beyond Information Infrastructure. Proceedings of the 2nd International Symposium on Digital Earth, Fredericton, New Brunswick, Canada, 2001.
[zusammen mit FLORIAN SAYDA]
- 62. Some Investigations on Encoding of Complex Geographic Information.**
In: Mapping the 21st Century. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, ICC 2001 Beijing, China, August 6-10, 2001. Scientific and Technical Program Committee, Beijing, 2001, Topic 19: Geo-Spatial Data Sharing, 6 S.
ISBN: 7-5030-1018-5
[zusammen mit GERHARD JOOS und SHI WEI]
- 63. Principles and Applications of Geographic Information Systems and Internet/Intranet Technology.**
In: *RTO/NATO (Eds.): New Information Processing Techniques for Military Systems (les Nouvelles techniques de traitement de l'information pour les systèmes militaires). Papers presented at the Information Systems Technology Panel (IST) Symposium held in Istanbul, Turkey, 9-11 October 2000. RTO Meeting Proceedings 49 (RTO-MP-049). North Atlantic Treaty Organization (NATO), Research and Technology Organization (RTO), Neuilly-sur-Seine, 2001, CD-ROM.*
ISBN: 92-837-1061-4
- 64. GI and Location Based Services for Mountaineers.**
In: Geoinformatics, Magazine for Geo-IT Professionals, Vol. 5, March 2002.
ISSN: 1387-0858
[zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 65. Geodaten im Internet – nur wer surft, bleibt dran.**
In: Mitteilungsblatt des DVW-Bayern, 54. Jhrg., Heft 1. 2002, S. 47-94.
ISSN: 0723-6336
[zusammen mit HEINRICH GLEIXNER]
- 66. Location Based Services für Bergsteiger und Bergwanderer – erste Erfahrungen mit VISPA.**
In: *KELNHOFER, Fritz / LECHTHALER, Mirjanka / BRUNNER, Kurt (Hrsg.): Telekartographie und Location Based Services. Geowissenschaftliche Mitteilungen, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, Technische Universität Wien, Heft Nr. 58, 2002, S. 163-169.*
ISSN: 1811-8380
[zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]

- 67. Aufbau eines positionsbezogenen GI Service für Bergsteiger.**
 In: GIS/SIT 2002. GIS macht mobil / SIT et mobilité. 19.-21. März 2002, ETH Zürich, Proceedings. Schweizerische Organisation für Geo-Information, Basel, 2002, 1 CD-ROM.
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 68. Positionsbezogene Dienste zur Unterstützung von Bergsteigern und Wanderern.**
 In: ZIPF, Alexander / STROBL, Josef (Hrsg.): Geoinformation mobil. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2002, S. 127-137.
 ISBN: 3-87907-373-2
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 69. Die Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (AGIS) – Ein Überblick.**
 In: HEISTER, Hans / REINHARDT, Wolfgang (Hrsg.): Beiträge anlässlich des 65. Geburtstages von Wilhelm Caspary. Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 2002, S. 23-33.
- 70. How can GI-standardization influence GI-education?**
 In: RUIZ, Maurici / GOULD, Michael / RAMON, Jeronica (Eds.): 5th AGILE Conference on Geographic Information Science – Proceedings, April 25-27th 2002. Universitat de les Illes Balears (UIB), Palma de Mallorca, 2002, 1 CD-ROM.
 ISBN: 84-7632-735-8
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und S. SCHNEIDER]
- 71. A Viewer Interface for Interactive Three-Dimensional Geo-Data Visualization.**
 In: ARMENAKIS, Costas / LEE, Y. C. (Eds.): ISPRS Commission IV Symposium 2002, Geospatial Theory, Processing and Applications, July 9-12, 2002, Ottawa, Canada. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 4, 2002, 1 S.
 ISSN: 1682-1750 (Druck)
 ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
 eISSN: 2194-9034 (Internet und USB)
 [zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA und MICHAEL HAHN]
- 72. GI and Location Based Services – Principles and Some Experiences with Applications for Mountaineers.**
 In: CHEN, Jun / JIANG, Jie (Eds.): ISPRS Commission II Symposium 2002. Integrated System for Spatial Data Production, Custodian and Decision Support. August 20-23, 2002, Xi'an, China. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part 2, 2002, S. 405-408.
 ISSN: 1682-1750 (Druck)
 ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
 eISSN: 2194-9034 (Internet und USB)
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA]
- 73. Concept and Realisation of a Generic GI Teaching Module.**
 In: EUGISES 2002. 3rd European GIS Education Seminar, 12-15 September, 2002, Girona, Catalonia, Spain. Papers.
- 74. Geo-Informationssysteme und ihre Möglichkeiten.**
 In: Wirtschaftsschutz & Sicherheitstechnik (W&S), Heft 5/2002, S. 34-35.
 ISSN: 0171-9262
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 75. Nie mehr verirren – Positionsbezogene Dienste zur Unterstützung von Bergsteigern und Wanderern.**
 In: GeoBIT, 8. Jhrg., 2003, Heft 1-2.
 ISSN: 1430-3663
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 76. Aktualisierung von Datenbeständen am Beispiel eines positionsbezogenen GI-Dienstes für Bergsteiger und Wanderer.**
 In: CHESI, Günter / WEINOLD, Thomas (Hrsg.): 12. Internationale Geodätische Woche Oberurgl 2003. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2003, S. 135-141.
 ISBN: 3-87907-401-3
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und BERND GEISLER]
- 77. Advancement of Geoservices**
 In: Information Systems in Earth Management. Kick-Off-Meeting, University of Hannover, 19 February 2003, Projects. Geotechnologien „Science Report“ No. 2, 2003, S. 37-49.
 ISSN: 1619-7399
 [zusammen mit FLORIAN SAYDA und ELMAR WITTMANN]
- 78. Evaluation in European GI Education – an Inquiry.**
 In: GOULD, Michael / LAURINI, Robert / COULONDRE, Stéphanie (Eds.): AGILE 2003. 6th AGILE Conference on Geographic Information Science. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Lausanne, 2003, S. 239-241.
 ISBN: 2-88074-541-1
 [zusammen mit ROLAND HELMICH, BRIGITTA KOPP und HEINZ MANDL]
- 79. Urban Land-Cover Classification: An Object Based Perspective**
 In: 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, URBAN 2003, Berlin, 22-23 May 2003, Technical University of Berlin. IEEE, Piscataway, NJ, 2003, S. 278-282.

ISBN: 0-7803-7719-2

[zusammen mit AHMED DARWISH und KRISTIN LEUKERT]

80. Entwicklung moderner Geodienste.

In: *BERNARD, Lars / SLIWINSKI, Adam / SENKLER, Kristian (Hrsg.): Geodaten- und Geodienste-Infrastrukturen – von der Forschung zur praktischen Anwendung. Beiträge zu den Münsteraner GI-Tagen, 26./27. Juni 2003. IfGI-prints, Schriftenreihe des Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 18, 2003, S. 253-265.*

ISBN: 3-936616-14-0

[zusammen mit MARTIN BREUNIG, RAINER MALAKA und JOACHIM WIESEL]

81. Image Segmentation for the Purpose of Object-Based Classification.

In: IGARSS 2003, Learning From Earth's Shapes and Sizes. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Centre de Congrès Pierre Baudis, Toulouse, France, 21-25 July 2003, Proceedings, Vol. III. IEEE, Piscataway, NJ, 2003, S. 2039-2041.

ISBN: 0-7803-7929-2 (Druck)

ISBN: 0-7803-7930-6 (CD-ROM)

[zusammen mit AHMED DARWISH und KRISTIN LEUKERT]

82. Location Based Services to Support Citizens During Recreational Activities.

In: *KONECŇ, Milan et al. (Eds.): Digital Earth – Information Resources for Global Sustainability, Brno, Czech Republic, September 21-25, 2003. The 3rd International Symposium on Digital Earth, Proceedings. Masaryk University Brno, Brno, 2003.*

ISBN: 80-210-3223-5

[zusammen mit FLORIAN SAYDA, ADMIRE KANDAWASVIKA, FEI WANG und ELMAR WITTMANN]

83. Vision mobiler Geodienste.

In: *TÜRKER, Can (Hrsg.): Mobilität und Informationssysteme. Workshop des GI-Arbeitskreises „Mobile Datenbanken und Informationssysteme“, 16./17. Oktober 2003, Zürich. Technical Report #422. Departement Informatik, Institut für Informationssysteme, ETH Zürich, 2003, S. 32-37.*

[zusammen mit MARTIN BREUNIG, RAINER MALAKA und JOACHIM WIESEL]

84. Geoinformation und mobile Dienste – Anforderungen und Anwendungen für Bergsteiger und Wanderer.

In: *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG), Jahrgang 2003, Heft 6, S. 463-469.*

ISSN: 1432-8364

[zusammen mit FLORIAN SAYDA, ADMIRE KANDAWASVIKA, FEI WANG und H. MUNDLE]

85. Geoinformation and Location Based Services – Principles and Some Experiences with Applications for Mountaineers.

In: *GeoBIT/GIS Magazine, 8. Jhrg., Heft 6, 2003.*

ISSN: 1430-3663

[zusammen mit FLORIAN SAYDA, ADMIRE KANDAWASVIKA, FEI WANG und ELMAR WITTMANN]

86. Advancement of Geoservices – Design and Prototype Implementation of Mobile Components and Interfaces for Geoservices.

In: *Information Systems in Earth Management, Status Seminar RWTH Aachen University, 23-24 March 2004, Programme & Abstracts. Geotechnologien „Science Report“ No. 4, 2004, S. 73-76.*

ISSN: 1619-7399

[zusammen mit OLIVER PLAN und ADMIRE KANDAWASVIKA]

87. Konzepte für die mobile Erfassung von Geodaten.

In: *RAUBALL, Martin / SLIWINSKI, Adam / KUHN, Werner (Hrsg.): Geoinformation und Mobilität – von der Forschung zur praktischen Anwendung. Beiträge zu den Münsteraner GI-Tagen, 01./02. Juli 2004. IfGI-prints, Schriftenreihe des Institut für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 22, 2004, S. 97-105.*

ISBN: 3-936616-22-1

[zusammen mit OLIVER PLAN, STEPHAN MÄS, ADMIRE KANDAWASVIKA und FEI WANG]

88. Transferability of Knowledge-Based Classification Rules.

In: *ALTAN, Orhan (Ed.): XXth ISPRS Congress Technical Commission IV, July 12-23, 2004, Istanbul, Turkey. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part B4, 2004, S. 1059-1064.*

ISSN: 1682-1750 (Druck)

ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)

eISSN: 2194-9034 (Internet/USB)

[zusammen mit KRISTIN LEUKERT und AHMED DARWISH]

89. Lernmodul Normung und Standardisierung – Konzept, Inhalte und Erfahrungen.

In: *PLÜMER, Lutz / ASCHE, Hartmut (Hrsg.): Geoinformation – Neue Medien für eine neue Disziplin. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2004, S. 67-76.*

ISBN: 978-3-87907-416-7

[zusammen mit ROLAND HELMICH und GERHARD JOOS]

90. Teaching OGC Web Services.

In: *EUGISES 2004 Villach. Conference Proceedings. The Fourth European GIS Education Seminar, 2004, 1 CD-ROM.*

[zusammen mit LYDIA GIETLER und ROLAND HELMICH]

- 91. Aktualisierung der Geodaten eines LBS unter Einbeziehung der Nutzer.**
In: SEYFERT, Eckhardt (Hrsg.): Vorträge, 24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 15.-17. September 2004 in Halle, Instrumentarien zur nachhaltigen Entwicklung von Landschaften. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, Band 13, 2004, S. 135-142.
ISSN: 0942-2870
[zusammen mit FLORIAN SAYDA]
- 92. Concepts and Development of a Mobile Client for Online Geospatial Data Acquisition.**
In: JACOBS, Franz / RÖHLING, Heinz-Gerd / UHLMANN, Ogarit (Hrsg.): GeoLeipzig 2004 – Geowissenschaften sichern Zukunft. Leipzig, 29. September bis 01. Oktober 2004. Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 34. Deutsche Geologische Gesellschaft, Hannover, 2004.
ISSN: 3-932537-06-8
[zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA, STEPHAN MÄS, OLIVER PLAN und FEI WANG]
- 93. GI-Ausbildung in AGILE.**
In: Newsletter e-geo.ch Geoinformation, Nr. 7, Oktober 2004, S. 23.
- 94. Presentation of Maps on the Internet – A Comparison of the Vector Formats SVG and Active CGM.**
In: FENDEL, Elfriede / RUMOR, Massimo (Eds.): Information Systems and the Delivery of the Promised Societal Benefits. Proceedings of UDMS '04, 24th Urban Data Management Symposium, Chioggia, Italy, October 27-29, 2004. Urban Data Management Society (UDMS), Delft, 2004, S. 4.61-4.71.
[zusammen mit IRIS WIEBROCK]
- 95. Developing Mobil Spatial Services for the Geosciences.**
In: Proceedings for the 19th International CODATA Conference „The Information Society: New Horizons for Science“, Berlin, Germany – 7-10 November 2004.
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, RAINER MALAKA und JOACHIM WIESEL]
- 96. Präsentation von Karten im Internet – Ein Vergleich der Vektorformate SVG und ActiveCGM.**
In: Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie – Tagung 2004. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 34. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2005.
ISBN: 3-89888-794-4
[zusammen mit IRIS WIEBROCK]
- 97. Advancement of Mobil Spatial Services for the Geosciences.**
In: Data Science Journal, a journal of the Committee on Data for Science and Technology (CODATA) of the International Council for Science (ICSU), 2005.
ISSN: 1683-1470
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, WOLFGANG BÄR, JOCHEN HÄUSSLER, GUIDO STAUB und JOACHIM WIESEL]
- 98. Concept for Quality Assurance During Mobile Online Data Acquisition.**
In: TOPPEN, Fred / PAINHO, Marco (Eds.): AGILE 2005. 8th Conference on Geographic Information Science, 2005, 26-28 May, Estoril, Portugal. Conference Proceedings. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, 2005, S. 3-12.
ISBN: 972-8093-13-6
[zusammen mit STEPHAN MÄS, ADMIRE KANDAWASVIKA und FEI WANG]
- 99. Concept for Interoperable Usage of Multi-Sensors within a Landslide Monitoring Application Scenario.**
In: TOPPEN, Fred / PAINHO, Marco (Eds.): AGILE 2005. 8th Conference on Geographic Information Science, 2005, 26-28 May, Estoril, Portugal. Conference Proceedings. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, 2005, S. 99-107.
ISBN: 972-8093-13-6
[zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA]
- 100. Investigation on Multi-GeoSensors Integration Using OGC SensorWeb in a Landslide Monitoring System.**
In: BROX, Christoph / KRÜGER, Antonio / SIMONIS, Ingo (Hrsg.): Geosensornetzwerke – von der Forschung zur praktischen Anwendung. Beiträge zu den Münsteraner GI-Tagen, 22.-24. Juni 2005. IfGI prints, Band 23. Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 2005.
ISBN: 3-936616-06-X
[zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA]
- 101. Teaching GI Standards in Higher Education – Examples from Distance and Classroom Teaching.**
In: KONEČNÝ, Milan / LORENZO, Ramón M. / VÁZQUEZ, Francisco (Eds.): Proceedings of

- the 22nd International Cartographic Conference 2005, 9-16 July, A Coruña, Spain, 2005.
- 102. Mobile Geospatial Data Collection – Concepts and First Experiences.**
In: *KONEČNÝ, Milan / LORENZO, Ramón M. / VÁZQUEZ, Francisco (Eds.):* Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference 2005, 9-16 July, A Coruña, Spain, 2005, 6 S.
[zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA, STEPHAN MÄS und FEI WANG]
- 103. Using Ontologies for Integrity Constraint Definition.**
In: *WU, L. / SHI, W. / FANG, Y. / TOING, Q. (Eds.):* Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Quality, 25th to 26th August 2005, Beijing, China. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2005.
[zusammen mit STEPHAN MÄS und FEI WANG]
- 104. Ontology Based Quality Assurance for Mobile Data Acquisition.**
In: *HŘEBÍČEK, Jiří / RÁČEK, Jaroslav (Eds.):* Informatics for Environmental Protection: Networking Environmental Information, EnviroInfo Brno, 2005. Proceedings of the 19th International Conference Informatics for Environmental Protection, September 7-9, 2005, Masaryk University Brno, Czech Republic.
ISBN: 80-210-3780-6
[zusammen mit FEI WANG, STEPHAN MÄS und ADMIRE KANDAWASVIKA]
- 105. Generic Mobile Data Acquisition System for Geosciences Applications.**
In: *FREIWALD, André / RÖHLING, Heinz-Gerd / LÖFFLER, Sonja-B. (Hrsg.):* GeoErlangen 2005. System Earth – Biosphere Coupling. Regional Geology of Central Europe. September 24-29, 2005. Program and Abstracts. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 39. Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften, Hannover, 2005.
ISBN: 3-932537-34-3
[zusammen mit ADMIRE KANDAWASVIKA, FEI WANG, STEPHAN MÄS und FEI WANG]
- 106. Standardisierte Internetdienste bei der mobilen GIS-Datenerfassung.**
In: Geomatik Schweiz, Geoinformation und Landmanagement; Heft 12/2005.
ISSN: 1660-4458
[zusammen mit STEPHAN MÄS]
- 107. Advancement of Mobile Geoservices: Potential and Experiences.**
In: Geotechnologien „Science Report“ No. 8: Information Systems in Earth Management – From Science to Application. Results from the First Funding Period (2002-2005), 2006, S. 32-50.
ISSN: 1619-7399
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, WOLFGANG BÄR, ANDREAS THOMSEN, JOCHEN HÄUSSLER, ANJA KIPFER, ADMIRE KANDAWASVIKA, STEPHAN MÄS, FEI WANG, STEPHANIE BRANDT, GUIDO STAUB und JOACHIM WIESEL]
- 108. Conception of a 3D Geodata Web Service for the Support of Indoor Navigation with GNSS.**
In: *ABDUL-RAHMAN, Alias / COORS, Volker / ZLATANOVA, Sisi (Ed.):* Innovations in 3D Geo Information Systems. International Workshop on 3D Geoinformation (3DGeoInfo'06), Kuala Lumpur, Malaysia, August 7-8, 2006. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2006, S. 307-316.
ISBN: 978-3-540-36998-1 (Online)
ISBN: 978-3-540-36997-4 (Druck)
[zusammen mit STEPHAN MÄS und FEI WANG]
- 109. The Integration of Spatial Integrity Constraints in Geographic Data Modeling.**
In: *RAUBAL, Martin / MILLER, Harvey J. / FRANK, Andrew U. / GOODCHILD, Michael F. (Eds.):* Geographic Information Science. Fourth International Conference, GIScience 2006, Münster, Germany, September 2006. Extended Abstracts. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 28, 2006, S. 395-398.
ISSN: 2191-5237
[zusammen mit FEI WANG]
- 110. Spatial Data Quality Concerns for Field Data Collection in Mobile GIS.**
In: *GONG, Jianya / ZHANG, Jingxiong (Eds.):* Geoinformatics 2006: Geospatial Information Science, 28-29 October 2006, Wuhan, China. Proceedings SPIE Vol. 6420. Society of Photooptical Instrumentation Engineers (SPIE), Bellingham, 2006, 7 S.
ISSN: 0038-7355
ISBN: 0-8194-6529-1
[zusammen mit FEI WANG]
- 111. Qualität der Netze. Balanced scorecard überwacht prozessorientiertes QM.**
In: Qualität und Zuverlässigkeit (QZ), Heft 02/2007, S. 60-61.
ISSN: 0720-1214
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 112. 3D-Dokumentation von Kanalanschlussleitungen –**

- Ortung und Inspektion im Untergrund.**
 In: *CHESI, Günter / WEINOLD, Thomas (Hrsg.):*
 14. Internationale Geodätische Woche Ober-
 gurgl 2007. Wichmann Verlag, Heidelberg,
 2007, S. 31-39.
 ISBN: 978-3-87907-446-4
 [zusammen mit HANSBERT HEISTER]
- 113. Extending Geographic Data Modeling by Adopting Constraint Decision Table to Specify Spatial Integrity Constraints.**
 In: *FABRIKANT, Sara Irina / WACHOWICZ, Monica (Eds.):* The European Information Society. Leading the Way with Geo-Information. 10th Conference of the Association of Geographic Information Laboratories for Europe (AGILE), held in Aalborg, Denmark. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C). Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007, S. 435-452.
 ISBN: 978-3-540-72384-4
 [zusammen mit FEI WANG]
- 114. Performance Measurement of Process-Based Quality Management for GIS Updating Processes.**
 In: *WACHOWICZ, Monica / BODUM, Lars (Eds.):* Proceedings 2007. The 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg, Denmark. Poster Abstracts, 147_PDF, 7 S.
 [zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 115. Studieren in Athen ohne Neubiberg zu verlassen! Erste Erfahrungen mit internationalen e-Learning-Kursen der Geoinformatik.**
 In: Hochschulkurier, Universität der Bundeswehr München, Nr. 29, Juni 2007, S. 30-31.
 ISSN: 234-87643
 [zusammen mit CHRISTIAN KOTTHOFF]
- 116. Europaweiter Austausch von GI e-Learning Kursen: ein Erfahrungsbericht.**
 In: *JEKEL, Thomas / KOLLER, Alfons / STROBL, Josef (Hrsg.):* Lernen mit Geoinformation II. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2007, S. 226-231.
 ISBN: 978-3-87907-460-0
 [zusammen mit STEPHAN MÄS]
- 117. Erfahrungen beim Austausch von e-Learning-Kursen auf europäischer Ebene.**
 In: *SEYFERT, Eckhardt (Hrsg.):* Vorträge Dreiländertagung SGPBF, DGPF und OVG. 27. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 19.-21. Juni 2007 in MuttENZ, Basel. Von der Medizintechnik bis zur Planetenforschung – Photogrammetrie und Fernerkundung für das 21. Jahrhundert. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 16, S. 51-57.
 ISSN: 0942-2870
 [zusammen mit STEPHAN MÄS]
- 118. 3D-Dokumentation von Anschlusskanälen und Grundstücksentwässerungsleitungen.**
 In: KA – Abwasser, Abfall, 54. Jahrgang, Nr. 6, 2007, S. 584-588.
 ISSN: 1866-0029
 [zusammen mit HANSBERT HEISTER, F. WOLFGANG GÜNTHERT und DARIUS CVACI]
- 119. A Web Service-Based and User Specific Portrayal for Geodata.**
 In: *PROBST, Florian / KESSLER, Carsten (Eds.):* GI-Days 2007 – Young Researchers Forum. Proceedings of the 5th Geographic Information Days, 10.-12. September 2007, Münster, Germany. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 30, 2007, S. 147-164.
 ISBN: 978-3-936616-48-4
 [zusammen mit IRIS WIEBROCK]
- 120. Metadata Management – An Analysis from Creation Till Use.**
 In: *PROBST, Florian / KESSLER, Carsten (Eds.):* GI-Days 2007 – Young Researchers Forum. Proceedings of the 5th Geographic Information Days, 10.-12. September 2007, Münster, Germany. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 30, 2007, S. 267-270.
 ISBN: 978-3-936616-48-4
 [zusammen mit MANUELA PÖTZSCH]
- 121. QM und Risiko in Netzinformationssystemen.**
 In: Tagungsband zur FQS-Forschungstagung „Zukunft Qualität – Risiken beherrschen“ 2007. FQS-Band 80-07. Forschungsgemeinschaft Qualität e.V., Frankfurt am Main, 2007, S. ?-47.
 ISSN: 0949-7439
 [zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 122. Die Bedeutung von Profilen für den Datenaustausch mittels Geography Markup Language.**
 In: Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie – Tagung 2006. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 39. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2007, S. 41-48.
 ISBN: 3-89888-824-X
 [zusammen mit STEFAN STROBEL]

- 123. Qualitätsmanagement von digitalen Netzinformationen bei Ent- und Versorgungsunternehmen (EVU).**
In: Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie – Tagung 2006. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 39. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2007, S. 49-68.
ISBN: 3-89888-824-X
[zusammen mit SIMONE STÜRMER]
- 124. AGILE: The Challenges on Advancing GI Education and Research in Europe.**
In: Revista IG+, 2007.
[zusammen mit MONICA WACHOWICZ und MICHAEL GOULD]
- 125. Development of Suitable Information Systems for Early Warning Systems.**
In: Geotechnologies Science Report No. 10. Early Warning Systems in Earth Management, Kick-Off-Meeting, 10 October 2007, Technical University Karlsruhe, Programm & Abstracts, S. 113-123.
ISSN: 1619-7399
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, EVA ORTLIEB, STEPHAN MÄS, CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUNER, JOACHIM WIESEL, DANIELA RICHTER, ANDREAS ABECKER, DOMINIK GALLUS und WASSILIOS KAZAKOS]
- 126. Current Issues in GI Quality Research.**
In: KONEČNÝ, Milan / BANDROVA, Temenoujka L. (Eds.): Proceedings 2: Second International Conference on Cartography and GIS, Borovets, Bulgaria, January 21-24, 2008. International Cartographic Association (ICA) / University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia.
ISBN: 978-954-724-038-4
- 127. Qualitätsbewusstsein in der Produktion von Netzinformationen.**
In: PPS - Management, 13. Jhrg., Heft 1, S. 47-50.
ISSN: 1434-2308
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 128. Prozessorientiertes Qualitätsmanagement für den Aktualisierungsprozess von Netzdaten.**
In: energie | wasser-praxis, Heft 2/2008.
ISSN: 1436-6134
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 129. Coupling Simulations of Landslides with Geoinformation Systems for Decision Support and Early Warning.**
In: BERNARD, Lars / FRIIS-CHRISTENSEN, Anders / PUNDT, Hardy / COMPTE, Irene (Eds.): Proceedings 2008. The 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Girona, Spain, 5-8 May, 2008. The European Information Society. Poster Abstracts, doc_83, 3 S.
ISBN: 978-3-540-78945-1
[zusammen mit EVA ORTLIEB, STEPHAN MÄS und FRANZ-XAVER TRAUNER]
- 130. Early Warning Systems for Landslide Vulnerable Regions.**
In: GIM international, Volume 22, Issue 9, 2008.
ISSN: 1566-9076
- 131. Towards an Information System for Early Warning of Landslides.**
In: MÖLLER, Andreas / PAGE, Bernd / SCHREIBER, Martin (Eds.): 2008 enviroinfo. Environmental Informatics and Industrial Ecology. Proceedings of the 22th International Conference on Information for Environmental Protection, September 10-12, 2008, Leuphana Universität Lüneburg. Shaker Verlag, Aachen, S. 476-481.
ISBN: 978-3-8322-7313-2
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, BJÖRN BROSCHEIT, EVA ORTLIEB, STEPHAN MÄS, CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUNER, JOACHIM WIESEL, DANIELA RICHTER, ANDREAS ABECKER, DOMINIK GALLUS, WASSILIOS KAZAKOS und ANDREAS BARTELS]
- 132. The UCGIS Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge – Some Thoughts from a European Perspective.**
In: Proceedings of the 5th International Conference on Geographic Information Science, Park City, UT, USA, September 23-26, 2008.
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, BJÖRN BROSCHEIT, EVA ORTLIEB, STEPHAN MÄS, CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUNER, JOACHIM WIESEL, DANIELA RICHTER, ANDREAS ABECKER, DOMINIK GALLUS, WASSILIOS KAZAKOS und ANDREAS BARTELS]
- 133. A Context-Aware User Group Model for Web Portrayal Services.**
In: Proceedings of the 5th International Conference on Geographic Information Science, Park City, UT, USA, September 23-26, 2008, S. 325-330.
[zusammen mit IRIS WIEBROCK]
- 134. Development of Suitable Information Systems for Early Warning Systems (EGIFF).**
In: Early Warning Systems in Earth Management. Status-Seminar, October, 8-9, 2008, University Osnabrück, Abstracts. R&D Programme Geotechnologies. Universität Osnabrück, Osnabrück, S. 113-130.
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, BJÖRN BROSCHEIT, EVA ORTLIEB, STEPHAN MÄS, CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUNER, JOACHIM WIESEL, DANIELA RICHTER,

ANDREAS ABECKER, DOMINIK GALLUS, WASSILIOS KAZAKOS und ANDREAS BARTELS]

135. Kopplung von Geoinformations- und Simulationssystemen zur Entscheidungsunterstützung.

In: Arbeitsgruppe Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS – Tagung 2008. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 43. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2009, S. 97-106.

ISBN: 978-3-89888-955-1

[zusammen mit EVA ORTLIEB und FRANZ-XAVER TRAU-
NER]

136. Development of a Coupled Geo Information and Simulation System for Early Warning Systems.

In: KONEČNÝ, Milan / ZLATANOVA, Sisi / BANDROVA, Temenoujka / FRIEDMANNOVA, Lucie (Eds.): Cartography and Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management: Towards better Solutions, January, 19-22, 2009, Prague, Czech Republic. Joint Symposium of ICA Working Group on CEWaCM and JBGIS Gi4DM. Abstracts. Masaryk Universität, Brünn, 2009, S. 27.

[zusammen mit EVA ORTLIEB und FRANZ-XAVER TRAU-
NER]

137. Aktueller Stand der Erfassung von Grundstücksentwässerungsanlagen.

In: DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL (Hrsg.): 6. DWA-Tagung „GIS in der Wasserwirtschaft“, Kassel, 21./22.01.2009. Tagungsband auf CD-ROM.

[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL, HANSBERT HEI-
STER, ADMIRE KANDAWASVIKA und JÖRG RENTER]

138. Categories of Geospatial and Temporal Integrity Constraints.

In: DRAGICEVIC, Suzana / ROMAN, Dumitru / TANASESCU, Vlad (Eds.): Proceedings. The International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services, GEOWS 2009, 1-7 February 2009, Cancun, Mexico. IEEE Computer Society Order Number E3527, Los Alamito/Washington/Tokyo, 2009, S. 146-151.

ISBN: 978-1-4244-3363-6 (Druck)

[zusammen mit STEPHAN MÄS]

139. Aktuelle Entwicklungen in der GIS-Technologie.

In: JT-ELEKTRONIK (Hrsg.): 22. Lindauer Seminar „Praktische Kanalisationstechnik – Instandhaltung von Kanalisationen“, Lindau, 05./06.03.2009, Tagungsband.

140. GIS-gestützte Ermittlung des Gefährdungspotentials von Tularämie in Deutschland.

In: REINHARDT, Wolfgang / KRÜGER, Antonio / EHLERS, Manfred (Hrsg.): Geoinformatik 2009. 31. März - 02. April 2009, Osnabrück. Konferenzband. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 35, 2009, S. 77-84.

ISBN: 978-3-89838-619-7

[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL und WOLF SPLETT-
STÖSSER]

141. Development of Suitable Information Systems for Early Warning Systems (EGIFF).

In: REINHARDT, Wolfgang / KRÜGER, Antonio / EHLERS, Manfred (Hrsg.): Geoinformatik 2009. 31. März - 02. April 2009, Osnabrück. Konferenzband. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 35, 2009, S. 247-250.

ISBN: 978-3-89838-619-7

[zusammen mit MARTIN BREUNIG, CONRAD BOLEY, JOA-
CHIM WIESEL, ANDREAS ABECKER und WASSILIOS KA-
ZAKOS]

142. GI Methodenentwicklung zur Unterstützung der Analyse und Frühwarnung von Massenbewegungen.

In: REINHARDT, Wolfgang / KRÜGER, Antonio / EHLERS, Manfred (Hrsg.): Geoinformatik 2009. 31. März - 02. April 2009, Osnabrück. Konferenzband. IfGI prints, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Band 35, 2009, S. 269-274.

ISBN: 978-3-89838-619-7

[zusammen mit MARTIN BREUNIG, BJÖRN SCHILBERG,
MARKUS JAHN, PAUL VINCENT KUPER, EVA ORTLIEB,
CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUER, JOACHIM
WIESEL, DANIELA RICHTER, SIMON SCHUFFERT, ANDRE-
AS ABECKER, DOMINIK GALLUS, WASSILIOS KAZAKOS
und ANDREAS BARTELS]

143. geoAsys – ein System zur Dokumentation des Verlaufes von Grundstücksentwässerungsanlagen.

In: gwf Wasser Abwasser, 150. Jhrg., Heft 2-3/2009, 7 S.

ISSN: 0016-3651

[zusammen mit ARNO BAUER und HANSBERT HEISTER]

144. Forschungsergebnisse werden Regelwerk.

In: energie | wasser-praxis, Heft 5/2009.

ISSN: 1436-6134

[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]

145. EGIFF – Developing Advanced GI Methods for Early Warning in Mass Movement Scenarios.

- In: Geotechnologies Science Report No. 13, Early Warning Systems in Earth Management, Status Seminar, 12-13 October 2009, Technische Universität München, Programme & Abstracts, 2009, S. 49-72.
ISSN: 1619-7399
[zusammen mit MARTIN BREUNIG, BJÖRN SCHILBERG, PAUL VINCENT KUPER, MARKUS JAHN, EVA NUHN, STEPHAN MÄS, CONRAD BOLEY, FRANZ-XAVER TRAUNER, JOACHIM WIESEL, DANIELA RICHTER, ANDREAS ABECKER, DOMINIK GALLUS, WASSILIOS KAZAKOS und ANDREAS BARTELS]
- 146. Context-Aware Visualization on the Web.**
In: Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Santiago de Chile, 15-21 November, 2009. Non-Referred Papers, Theme 13: Internet, Paper 13, 8 S.
[zusammen mit IRIS WIEBROCK]
- 147. Some Thoughts on the Usage of a Body of Knowledge (BoK) in GI Education.**
In: Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Santiago de Chile, 15-21 November, 2009. Non-Referred Papers, Theme 18: Education, Paper 9, 6 S.
- 148. Overview of a Coupled Geoinformation and Simulation System for the Early Warning of Landslides.**
In: 6th GI4DM Conference on Geomatics for Crisis Management, Turino, February 2-4, 2010. Proceedings (DVD).
[zusammen mit EVA NUHN]
- 149. Multisensorsystem geoASYS zur 3D Kalandokumentation.**
In: WUNDERLICH, Thomas A. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 10. Beiträge zum 16. Internationalen Ingenieurvermessungskurs, München, 2010. Wichmann Verlag, Berlin, 2010, S. 145-156.
ISBN: 978-3-87907-492-1
[zusammen mit PHILIPP STRIEGL, HANSBERT HEISTER, ADMIRE KANDAWASVIKA und JÖRG RENTER]
- 150. Development of a Coupled Geoinformation and Simulation System for Early Warning.**
In: KONEČNÝ, Milan / ZLATANOVAM, Sisi / BANDROVA, Temenoujka L. (Eds.): Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management. Towards Better Solutions. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNG&C), Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010, S. 273-286.
ISBN: 978-3-642-03441-1 (Druck)
ISBN: 978-3-642-03442-8 (Online)
[zusammen mit EVA ORTLIEB und FRANZ-XAVER TRAUNER]
- 151. An Approach for Automatic Generation of Metadata Based on Data Product Specifications.**
In: Proceedings of INSPIRE Conference, 22-25 June 2010, Kraków, 13 S.
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL und STEPHAN MÄS]
- 152. Concept and Goals of a Geo Web Service Test Bed.**
In: Proceedings of the ICMT'11 – International Conference on Military Technologies, Brno, University of Defense, 2011.
ISBN: 978-80-7231-787-5
[zusammen mit STEPHAN SCHMID]
- 153. Coupling Geoinformation and Simulation Systems for the Early Warning of Landslides.**
In: Applied Geomatics, Vol. 3, Issue 2. Gi4DM: Geoinformation for Disaster Management, Torino, Italy, February 2010, Part 1, 2011, S. 101-107.
ISSN: 1866-9298 (Druck)
ISSN: 1866-928X (Online)
[zusammen mit EVA NUHN]
- 154. Geoinformatics Education in Different Disciplines – Challenges, Approaches and Experiences.**
In: HUBEAU, Marianne / STEENBERGHEN, Thérèse / VAN BALEN, Koen / VAN ORSHOVEN, Jos / VILEIKIS, Ona (Eds.): LeGIO-Workshop, 18th of November, 2011. GIS-education in a changing academic environment. Workshop Proceedings. Katholieke Universiteit Leuven, 2011, S. 21-28.
ISBN: 978-90-8826-217-3
- 155. Preparation of Complex Landslide Simulation Results with Clustering Approaches for Decision Support and Early Warning.**
In: SPRAGHE, Ralph H. Jr. (Ed.): Proceedings of the Forthty-Fifth Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 4-7 January 2012, Maui, Hawaii. IEEE Computer Society Order Number P4525, 2012, S. 1089-1096.
ISBN: 978-0-7695-4525-7
[zusammen mit EVA NUHN, ERIK KROPAT und STEFAN PICKL]
- 156. Statement of Usage of BoK in Our Institute.**
In: AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science, Avignon, April, 24-27, 2012, Preconference workshop „Views on the Body of Knowledge“. 2 S.
- 157. Generation of Landmarks from 3D City Models and OSM Data.**
In: GENSEL, Jérôme / JOSSELINE, Didier / VANDENBROUCKE, Danny (Eds.): Multidisciplinary Research on Geographical Information in Europe and Beyond. Proceedings of the

- AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science, Avignon, April, 24-27, 2012, S. 365/392-369/392.
ISBN: 978-90-81960-0-5
[zusammen mit EVA NUHN und BENJAMIN HASKE]
- 158. Curriculum Design Based on the UCGIS S&T Body of Knowledge Supported by a Software Tool.**
In: HUBEAU, Marianne / DE BAKKER, Marinus / TOPPEN, Fred / REINHARDT, Wolfgang / STEENBERGHEN, Thérèse / VAN ORSHOVEN, Jos (Eds.): 8th European GIS Education Seminar, 6-9 September, 2012. GIS-education: Where are the boundaries? Seminar Proceedings. Katholieke Universiteit Leuven, 2012, S. 19-26.
ISBN: 978-90-8826-258-6
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]
- 159. Zur Qualität und Usability von Geo Web Services.**
In: BEINEKE, Dieter / HEUNECKE, Otto / HORST, Thomas / KLEIM, Uwe G. F. (Hrsg.): Festschrift für Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner anlässlich des Ausscheidens aus dem aktiven Dienst. Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München, Heft 87, 2012, S. 189-196.
ISSN: 0173-1009
- 160. Multi-Sensor Based Surveying of House Drainage System – The Current State of the Art.**
In: 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2012). Proceedings of a meeting held 13-15 November 2012, Sydney, Australia. 4 S.
[zusammen mit PHILIPP STRIEGL, ADMIRE KANDAWASVIKA, HANSBERT HEISTER und FRANK HÜMMER]
- 161. Prozessorientiertes Qualitätsmanagement bei der Aktualisierung von GIS/NIS-Daten – Hintergrund und Ergebnisse einer Praxisstudie.**
In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 138. Jhrg., Heft 1, 2013, S. 95-102.
ISSN: 1618-8950
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 162. Klassifizierung von GIS-Funktionalitäten im Bereich des Katastrophenmanagements.**
In: HANKE, Klaus / WEINOLD, Thomas (Hrsg.): 17. Internationale geodätische Woche Oberurgl 2013. Wichmann Verlag, Berlin, 2013, S. 173-182.
ISBN: 978-3-87907-526-3
[zusammen mit ESZTER GÁLICZ und IMRAN HOSSAIN]
- 163. Quality of Geo Web Services.**
In: Proceedings of the ICMT'13 – International Conference on Military Technologies, Brno, University of Defense, 2013.
ISBN: 978-80-7231-918-3
[zusammen mit STEPHAN SCHMID]
- 164. Geo Web Services im Bereich des Katastrophenmanagements.**
In: UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Umweltinformationssysteme. Wege zu Open Data – Mobile Dienste und Apps. 20. Workshop des Arbeitskreises „Umweltinformationssysteme“ der Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“, veranstaltet an der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt am 23. und 24. Mai 2013. Freigegebene Vorträge, do03, 24 S.
[zusammen mit ESZTER GÁLICZ und IMRAN HOSSAIN]
- 165. Continuous Improvement of Geographic Data Production Processes – Approach and Results of a Case Study.**
In: MARCA, David / VAN SINDEREN, Marten (Eds.): ICE-B 2013, 10th International Conference on e-Business, Proceedings, Reykjavík, Iceland, 29-31 July, 2013. 7 S.
ISBN: 978-989-758-128-1
[zusammen mit THORSTEN BOCKMÜHL]
- 166. Geo Web Services for Transport Crisis Management in Alpine Region.**
In: BUCHROITHNER, Manfred F. / PRECHTEL, Nikolas / BURGHARDT, Dirk / PIPPIG, Karsten / SCHRÖTER, Benjamin (Eds.): From Pole to Pole. Proceedings of the 26th International Cartographic Conference, Dresden, Germany, 25-30 August 2013. Internationale Kartographische Vereinigung (IKV) / Deutsche Gesellschaft für Kartographie (DGfK), Dresden, 2013, 14 S.
ISBN: 978-1-907075-06-3
[zusammen mit ESZTER GÁLICZ und IMRAN HOSSAIN]
- 167. Zur Bedeutung eines „Body of Knowledge“ für die Geoinformatik.**
In: SEYFERT, Eckhardt / GÜLICH, Eberhard / HEIPKE, Christian / SCHIEWE, Jochen / SEESTER, Monika (Hrsg.): Geoinformationen öffnen das Tor zur Welt. 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 62. Deutscher Kartographentag der DGfK, Geoinformatik 2014 der GfGI und des GIN, 26.-28. März 2014 in Hamburg. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, Band 23, 2014, Beitrag 133, 7 S.
ISSN: 0942-2870
- 168. Untersuchungen zur Verbesserung der Aufnahmegenauigkeit von Abwasserleitungen.**

- In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 139. Jhrg., Heft 2, 2014, S. 71-80.
ISSN: 1618-8950
[zusammen mit PHILIPP STRIEGL und KIM MÖNCH]
- 169. An Algorithm for Segmenting a Feature Set into Equitable Regions.**
In: *HUERTA, Joaquín / SCHADE, Sven / GRANELL, Carlos (Eds.): Connecting a Digital Europe Through Location and Place. Selected best short papers and posters of the AGILE 2014 Conference, 03-06 June 2014, Castellón, Spain. AGILE Digital Editions, 2014, S. 55-59.*
ISBN: 978-90-816960-4-3
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]
- 170. UAV Data Processing for Large Scale Topographical Mapping.**
In: *REMONDINO, Fabio / MENNA, Fabio (Eds.): ISPRS Technical Commission V Symposium, June, 23-25, 2014, Riva del Garda, Italy. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-5, S. 565-572.*
ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9034 (Internet + USB)
[zusammen mit WINHARD TAMPUBOLON]
- 171. Geographic Information for Disaster Management – An Overview.**
In: *THEODORESCU, Horia-Nicolai / KIRSCHENBAUM, Alan / COJOCARU, Svetlana / BRUDERLEIN, Claude (Eds.): Improving Disaster Resilience and Mitigation – IT Means and Tools. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer Netherlands, Dordrecht, 2014, Chapter 14, S. 225-238.*
ISSN: 978-94-017-9135-9
ISBN: 978-94-017-9136-6
- 172. Automatic Large Scale Topographical Map Updating using Open Street Map (OSM) Data Within NoSQL Database Platform.**
In: *BEHR, Franz-Josef / PRADEEPKUMAR, A. P. (Eds.): Continuous Geospatial Education. Applied Geoinformatics for Society and Environment, AGSE 2014. 7th Alumni Summer School and Conference, November, 5-7, 2014, Stuttgart, Germany. Publications of Stuttgart University of Applied Sciences, No. 139. Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart, 2014, S. 1-7.*
ISBN: 978-3-940670-49-6
[zusammen mit WINHARD TAMPUBOLON]
- 173. Analysis of Radar and Optical Space Borne Data for Large Scale Topographical Mapping.**
In: *STILLA, Uwe / HEIPKE, Christian (Eds.): PIA15, Photogrammetric Image Analysis + HRIGI15, High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information – Joint ISPRS Conference, 25-27 March 2015, Munich, Germany. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-3/W2. Technische Universität München, München, 2015, S. 235-242.*
ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9034 (Internet + USB)
[zusammen mit WINHARD TAMPUBOLON]
- 174. WMS Performance of Selected SQL and NoSQL Databases.**
In: *KRIVANEK, Vaclav (Ed.): Proceedings of the 2015 International Conference on Military Technologies (ICMT), Brno, 19-21 May 2015. University of Defence, Brno, 2015, S. 311-316.*
ISBN: 978-80-7231-976-3
[zusammen mit STEPHAN SCHMID und ESZTER GÁLICZ]
- 175. Performance Investigation of Selected SQL and NoSQL databases.**
In: *BACAO, Fernando / SANTOS, Maribel Yasmina / PAINHO, Marco (Eds.): Proceedings 2015. The 18th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Lisbon, 9-12 June 2015. Geographic Information Science as an Enabler of Smarter Cities and Communities. Short paper 68, 5 S.*
ISBN: 978-3-319-16787-9
[zusammen mit STEPHAN SCHMID und ESZTER GÁLICZ]
- 176. Road Network Segmentation for Bus-Based Evacuation.**
In: *BACAO, Fernando / SANTOS, Maribel Yasmina / PAINHO, Marco (Eds.): Proceedings 2015. The 18th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Lisbon, 9-12 June 2015. Geographic Information Science as an Enabler of Smarter Cities and Communities. Short paper 93, 5 S.*
ISBN: 978-3-319-16787-9
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]
- 177. Towards a General Evaluation Procedure for Geo Web Services.**
In: *ROBBI SLUTER, Claudia / MADUREIRA CRUZ, Carla Bernadette / LEAL DE MENEZES, Paulo Márcio (Eds.): Cartography – Maps Connecting the World. 27th International Cartographic Conference – ICC2015. Lecture Notes*

in Geoinformation and Cartography, Subseries: Publications of the International Cartographic Association (ICA). Springer, Cham/Heidelberg / New York / Dordrecht / London, 2015, 15 S.

ISBN: 978-85-88783-11-9
[zusammen mit STEPHAN SCHMID]

178. UAV Data Processing for Rapid Mapping Activities.

In: MALLET, C. / PAPARODITIS, N. / DOWMAN, I. / OUDE ELBERINK, S. / RAIMOND, A.-M. / SITHOLE, G. / RABATEL, G. / ROTTENSTEINER, F. / BRIOTTET, X. / CHRISTOPHE, S. / ÇÖLTEKIN, A. / PATANĚ, G. (Eds.): ISPRS Geospatial Week 2015, La Grande Motte, France. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-3/W3, 2015, S. 371-377.

ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9034 (Internet und USB)
[zusammen mit WINHARD TAMPUBOLON]

179. Direct Georeferencing of UAV Data Based on Simple Building Structures.

In: HALOUNOVA, I. / ŠAFÁŘ, V. / TOTH, C. K. / KARAS, J. / HUADONG, G. / HAALA, N. / HABIB, A. / REINARTZ, P. / TANG, X. / LI, J. / ARMENAKIS, C. / GRENZDÖRFFER, G. / LE ROUX, P. / STYLIANIDES, S. / BLASI, R. / MENARD, M. / DUFOURMOUNT, H. / LI, Z. (Eds.): XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, Commission I. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XLI-B1, 2016, S. 1043-1050.

ISSN: 1682-1750 (Druck)
ISSN: 1682-1777 (CD-ROM)
eISSN: 2194-9034 (Internet und USB)
[zusammen mit WINHARD TAMPUBOLON]

180. Using a GIS S&T Body of Knowledge within a Developed Curriculum Design Tool.

In: 2016 Esri Education GIS Conference Proceedings, San Diego, June 27-30, 2016, 11 S.
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]

181. An ArcGIS Tool for Creating Equitable Regions.

In: 2016 Esri Education GIS Conference Proceedings, San Diego, June 27-30, 2016, 19 S.
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]

182. Nutzung eines Body of Knowledge für das Curriculum Design.

In: KERSTEN, Thomas P. (Hrsg.): Kulturelles Erbe erfassen und bewahren – Von der Dokumentaion zum virtuellen Rundgang. 37. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der

DGPf, 8.-10. März 2017 in Würzburg. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 26, 2017, S. 342-349.

ISSN: 0942-2870
[zusammen mit IMRAN HOSSAIN]

183. Weitere Entwicklung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Netzdokumentation.

In: DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES (DVGW) (Hrsg.): Seminar Qualitätssicherung in der Netzdokumentation, Bonn, 5.12.2017, Seminarunterlagen. DVGW-Merkblatt GW 130, 2017.

C. Lexikabeiträge

1. Geodatenportal.

In: BOLLMANN, Jürgen / LIPINSKI, Annette / KOCH, Wolf-Günther (Hrsg.): Lexikon der Kartographie und Geomatik, Band 1: A bis Karti. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg, 2001, S. 290.

ISBN: 3-8274-1136-X

2. Geodatenportal.

In: BOLLMANN, Jürgen / LIPINSKI, Annette / KOCH, Wolf-Günther (Hrsg.): Lexikon der Kartographie und Geomatik, A-Z. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg, 2002, 1 CD-ROM.

ISBN: 3-8274-1137-8

3. Enterprise GIS.

In: WARF, Barney (Ed.): Encyclopedia of Geography, Vol. 2. SAGE Publications Inc., Los Angeles, 2010, 3 S.

ISBN: 978-1-4129-5697-0 (Druck)
ISBN: 978-1-4129-3959-1 (Online)

D. Weitere Veröffentlichungen

1. Karl Kraus: Photogrammetrie, Band 2: Theorie und Praxis der Aufnahmesysteme. Dümmler Verlag, Bonn 1984.

Buchbesprechung. In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 110. Jhrg., Heft 10, 1985, S. 481.

ISSN: 0340-4560

2. Anwenderforum Duisburg '91 „Geo-Informationssysteme und Umweltinformatik“.

In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (ZPF), 59. Jhrg., Heft 4, 1991, S. 136-137.

ISSN: 0937-9800

- 3. Gedanken zur Geoinformatik (GI) – Ausbildung.**
In: arc aktuell, Heft 1, 2008.
ISSN: 1617-8394
- 4. AGILE – Association of Geographic Information Laboratories for Europe.**
In: GIS - Zeitschrift für Geoinformatik, Heft 3/2008.
ISSN: 1869-9391
[zusammen mit LARS BERNARD]
- 5. AGIS.**
In: GIM International, Vol. 22, Issue 6, 2008.
ISSN: 1566-9076
- 6. How OGC Membership Supports the Member's Activities.**
In: GIM International, Vol. 22, Issue 6, 2008.
ISSN: 1566-9076
- 7. Editorial.**
In: *KONEČNÝ, Milan / REINHARDT, Wolfgang (Guest-Editors): Special Issue: Early warning and disaster management: the importance of geographic information (Part B).* International Journal of Digital Earth, Vol. 3, Issue 3, 2010, S. 217-220.
ISSN: 1753-8947 (Druck)
ISSN: 1753-8955 (Online)
[zusammen mit MILAN KONEČNÝ]
- 8. Editorial.**
In: *KONEČNÝ, Milan / REINHARDT, Wolfgang (Guest-Editors): Special Issue: Early warning and disaster management: the importance of geographic information (Part B).* International Journal of Digital Earth, Vol. 3, Issue 4, 2010, S. 313-315.
ISSN: 1753-8947 (Druck)
ISSN: 1753-8955 (Online)
[zusammen mit MILAN KONEČNÝ]
- 9. Buchbesprechung „Handbook of Geographic Information“.**
In: Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 137. Jhrg., Heft 5, 2012, S. 333-334.
ISSN: 1618-8950

Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie der Universität der Bundeswehr München

Bisher erschienene Hefte:

Heft 1/1978 (vergriffen)

Schödlbauer, Albert (Bearb.): Curriculum für den wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München. 53 S.

Heft 2/1978

Chrzanowski, Adam / Dorrer, Egon (Hrsg.): Proceedings „Standards and Specifications for Integrated Surveying and Mapping Systems“. Workshop held in Munich, Federal Republic of Germany, 1-2 June, 1977. Assisted by *J. McLaughlin*. VII, 181 S.

Heft 3/1978

Caspary, Wilhelm / Geiger, Axel: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungsmesser. 62 S.

Heft 4/1979

Baumann, Eberhard / Caspary, Wilhelm / Dupraz, Hubert / Niemeier, Wolfgang / Pelzer, Hans / Kuntz, Eugen / Schmitt, Günter / Welsch, Walter: Seminar über Deformationsanalysen, gehalten an der Hochschule der Bundeswehr München. 106 S.

Heft 5/1981

Torlegård, Kennert: Accuracy Improvement in Close Range Photogrammetry. 68 S.

Heft 6/1982

Caspary, Wilhelm / Welsch, Walter (Hrsg.): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. 271 S.

Heft 7/1982

Borre, Kai / Welsch, Walter M. (Hrsg.): 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

Geiger, Axel: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente. Dissertation. 125 S.

Heft 9/1983

Welsch, Walter (Hrsg.): Deformationsanalysen '83. Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen Geodätischer Netze. Beiträge zum Geodätischen Seminar 22. April 1983. 339 S.

Heft 10/1984

Caspary, Wilhelm / Schödlbauer, Albert / Welsch,

Walter (Hrsg.): 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Beiträge aus dem Institut für Geodäsie. 244 S.

Heft 11/1984 (vergriffen)

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 23. September 1983. 270 S.

Heft 12/1984

Schwintzer, Peter: Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen. Dissertation. 159 S.

Heft 13/1984

Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung. 81 S.

Heft 14/1984

Neukum, Gerhard: Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse. Mit Beiträgen von *G. Neugebauer*. Herausgegeben von *G. Neugebauer*. 102 S.

Heft 15/1984

Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): Satelliten-Doppler-Messungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar 24./25. September 1984. 396 S.

Heft 16/1985 (vergriffen)

Szacherska, Maria Krystyna / Welsch, Walter M.: Geodetic Education in Europe. 234 S.

Heft 17/1986

Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W.: 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

Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil II. 116 S.

Heft 19/1986 (vergriffen)

Landau, Herbert / Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W.: GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy. 210 S.

Heft 20/1985

Heft 20-1

Welsch, Walter / Lapine, Lewis A. (Hrsg.): 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. Band 1. 310 S.

Heft 20-2

Welsch, Walter / Lapine, Lewis A. (Hrsg.): 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. Band 2. S. 311 - 634.

Heft 21/1986

Oberholzer, Gustav: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil III. 100 S.

Heft 22/1987

Caspary, Wilhelm / Hein, Günter W. / Schödlbauer, Albert (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Geodätisches Seminar 25./26. September 1986. 386 S.

Heft 23/1987

Dorrer, Egon / Peipe, Jürgen (Hrsg.): Motografie. Symposium 11./12. März 1986. 285 S.

Heft 24/1987

Neugebauer, Gustav (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

Perelmuter, Avraam: Beiträge zur Ausgleichung geodätischer Netze. 75 S.

Heft 26/1987

Ellmer, Wilfried: Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches. Dissertation. 109 S.

Heft 27/1988

Heister, Hansbert: Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmeßinstrumente. Habilitationsschrift. 213 S.

Heft 28/1987

Paßberger, Ernst H.: 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

Glasmacher, Hans: Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren. Dissertation. 131 S.

Heft 30/1987

Zhang, Yan: Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze. Dissertation. 151 S.

Heft 31/1988

Lechner, Wolfgang: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Dissertation. 165 S.

Heft 32/1988

König, Rolf: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Dissertation. 143 S.

Heft 33/1988

Borutta, Harald: Robuste Schätzverfahren für geodätische Anwendungen. Dissertation. 161 S.

Heft 34/1988

Landau, Herbert / Hehl, Klaus / Eissfeller, Bernd / Hein, Günter W. / Reilly, Ian W.: Operational Geodesy Software Packages. 325 S.

Heft 35/1988

Oberholzer, Gustav / Paßberger, Ernst: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil IV. 153 S.

Heft 36/1988

Landau, Herbert: Zur Nutzung des Global Positioning Systems in Geodäsie und Geodynamik: Modellbildung, Softwareentwicklung und Analyse. Dissertation. 287 S.

Heft 37/1989

Eissfeller, Bernd: Analyse einer geodätischen raumstabilisierten Inertialplattform und Integration mit GPS. Dissertation. 327 S.

Heft 38/1990 (*vergriffen*)

Heft 38-1

Schödlbauer, Albert (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil I: Global Positioning System. 352 S.

Heft 38-2

Schödlbauer, Albert (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

Kersting, Norbert / Welsch, Walter (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen. Seminar 8./9. Juni 1989. 307 S.

Heft 40/1989

Oberholzer, Gustav: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung. 214 S.

Heft 41/1990

Hein, Günter W. / Hehl, Klaus / Eissfeller, Bernd / Ertel, Michael / Jacoby, Wolfgang / Czerek, Dirk: On Gravity Prediction Using Density and Seismic Data. 148 S.

Heft 42/1992

Kersting, Norbert: Zur Analyse rezenter Krustenbewe-

gungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen. Dissertation. V, 246 S.

Heft 43/1992

Hehl, Klaus: Bestimmung von Beschleunigungen auf einem bewegten Träger durch GPS und digitale Filterung. Dissertation. XII, 206 S.

Heft 44/1992

Oswald, Wolfgang: 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. Mai 1993. 314 S.

Heft 46/1994

Brunner, Kurt / Peipe, Jürgen (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. 254 S.

Heft 47/1994

Heft 47-1

Thiemann, Karl-Heinz: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil I: Renaturierungsleitbild, Naturschutzverfahren. XXXVI, 384 S.

Heft 47-2

Thiemann, Karl-Heinz: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil II: Planungsrechtliche Aspekte. XXXVI, S. 385 - 572.

Heft 48/1994

Schwartz, Christian: Experimente zur GPS-gestützten Aerotriangulation unter besonderer Berücksichtigung systematischer Einflüsse. Dissertation. VIII, 192 S.

Heft 49/1995

Scheuring, Robert: Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen. Dissertation. 126 S.

Heft 50/1997

Welsch, Walter M. / Lang, Martin / Miller, Maynard M. (Hrsg.): Geodetic Activities, Juneau Icefield, Alaska, 1981-1996. 268 S.

Heft 51/1996

Blomenhofer, Helmut: Untersuchungen zu hochpräzisen kinematischen DGPS-Echtzeitverfahren mit besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Fehlereinflüsse. Dissertation. X, 168 S.

Heft 52/1997

Wang, Jian Guo: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Dissertation. XV, 138 S.

Heft 53/1996

Chen, Guoping: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich. Dissertation. III, 128 S.

Heft 54/1997

Dold, Jürgen: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemeßsystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. Dissertation. 140 S.

Heft 55/1997

Eissfeller, Bernd: Ein dynamisches Fehlermodell für GPS Autokorrelationsempfänger. Habilitationsschrift. XII, 182 S.

Heft 56/1997

Sutor, Thomas: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich. Dissertation. 123 S.

Heft 57/1997

Oberholzer, Gustav: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung, Teil II. 186 S.

Heft 58/1997

Zhong, Detang: Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze. Dissertation. 160 S.

Heft 59/1997

Jiang, Ting: Digitale Bildzuordnung mittels Wavelet-Transformation. Dissertation. II, 136 S.

Heft 60/2000

Heft 60-1

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 1: Wissenschaftliche Beiträge und Berichte. 331 S.

Heft 60-2

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 2: Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen. 113 S.

Heft 60-3

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Schödlbauer, Albert / Welsch, Walter (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 3: Aus dem Leben des Instituts. 149 S.

Heft 61/1998

Cui, Tiejun: Generierung hochwertiger Digitaler Geländemodelle aus analogen Karten mittels Mathematischer Morphologie. Dissertation. 188 S.

Heft 62/1999

Brunner, Kurt / Welsch, Walter M. (Hrsg.): Hochgebirgs- und Gletscherforschung. Zum 100. Geburtstag von Richard Finsterwalder. 114 S.

Heft 63/1999

Fosu, Collins: Astrogeodetic Levelling by the Combination of GPS and CCD Zenith Camera. Dissertation. 155 S.

Heft 64/1999

Werner, Wolfgang: Entwicklung eines hochpräzisen DGPS-DGLONASS Navigationssystems unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolites. Dissertation. 226 S.

Heft 65/1999

Krack, Klaus: Dreizehn Aufgaben aus der Landesvermessung im Geographischen Koordinatensystem. 84 S.

Heft 66/2000

Joos, Gerhard: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Dissertation. 150 S.

Heft 67/2000

Sternberg, Harald: Zur Bestimmung der Trajektorie von Landfahrzeugen mit einem hybriden Meßsystem. Dissertation. 158 S.

Heft 68/2000

Oberholzer, Gustav: Die Weiterentwicklung der Kulturlandschaft. Landespflege in der Flurbereinigung, Teil V. 150 S.

Heft 69/2000

Hollmann, Rolf: Untersuchung von GPS-Beobachtungen für kleinräumige geodätische Netze. Dissertation. 350 S.

Heft 70/2001

Roßbach, Udo: Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS. Dissertation. 167 S.

Heft 71/2001

Beineke, Dieter: Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten. Dissertation. 155 S.

Heft 72/2001

Oehler, Veit: Entwicklung eines „end-to-end“ Simulators zur Satellitennavigation unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolite gestützten GNSS-Landesystemen. Dissertation. 212 S.

Heft 73/2001

Schüler, Torben: On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation. Dissertation. 370 S.

Heft 74/2001

Neudeck, Stefan: Zur Gestaltung topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung. Dissertation. 131 S.

Heft 75/2002

Shingareva, Kira B. / Dorrer, Egon: Space Activity in Russia – Background, Current State, Perspectives. 135 S.

Heft 76/2002

Tiemeyer, Bernd: Performance Evaluation of Satellite Navigation and Safety Case Development. Dissertation. 151 S.

Heft 77/2004

Shi, Wei: Zum modellbasierten Austausch von Geodaten auf Basis XML. Dissertation. 115 S.

Heft 78/2004

Plan, Oliver: GIS-gestützte Verfolgung von Lokomotiven im Werkbahnverkehr. Dissertation. 115 S.

Heft 79/2004

Ebner, Matthias: Ein Beitrag zur monetären Bewertung von digitaler Netzinformation in Versorgungsunternehmen. Dissertation. 107 S.
[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 80/2005

Forstner, Gustav: Längenfehler und Ausgangsmeridiane in alten Landkarten und Positionstabellen. Dissertation. 319 S.

Heft 81/2006

Dutescu, Eugen: Digital 3D Documentation of Cultural Heritage Sites Based on Terrestrial Laser Scanning. Dissertation. 140 S.

Heft 82/2007

Schäuble, Doris: Nutzungstausch auf Pachtbasis als neues Instrument der Bodenordnung. Dissertation. 176 S.

Heft 83/2008

Pink, Sönke: Entwicklung und Erprobung eines multifunktionalen Geo-Sensornetzwerkes für ingenieur-geodätische Überwachungsmessungen. Dissertation. 180 S.

Heft 84/2009

Gräfe, Gunnar: Kinematische Anwendungen von Laserscannern im Straßenraum. Dissertation. 177 S.

Heft 85/2010

Heichel, Wolfgang: Chronik der Erschließung des Karakorum. Teil II – Central Karakorum I. 460 S.

Heft 86/2010

Riesner, André: Möglichkeiten und Grenzen der Bewegung von Landentwicklungsprozessen und deren Nachhaltigkeit. Dissertation. 222 S.

Heft 87/2012

Beineke, Dieter / Heunecke, Otto / Horst, Thomas / Kleim, Uwe G. F. (Hrsg.): Festschrift für Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner anlässlich des Ausscheidens aus dem aktiven Dienst. 328 S.

Heft 88/2012

Lüdecke, Cornelia / Brunner, Kurt (Hrsg.): Von A(ltenburg) bis Z(eppelin). Deutsche Forschung auf Spitzbergen bis 1914. 100 Jahre Expedition des Herzogs Ernst II. von Sachsen-Altenburg. Tagung 2011 des Fachausschusses Geschichte der Meteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft und des Arbeitskreises Geschichte der Polarforschung der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung, 24.-25. September 2011, Naturkundliches Museum Mauritium, Altenburg. 120 S.

Heft 89/2012

Hinz, Silvia Arabella: Ganzheitliches Wertschöpfungsmodell der Waldflurbereinigung und deren Effizienzsteigerung. Dissertation. 257 S.

Heft 90/2015

Krack, Klaus / Oberholzer, Gustav: Die Ostausrichtung der mittelalterlichen Kirchen und Gräber. 194 S.

Heft 91/2015

Strübing, Thorsten: Kalibrierung und Auswertung von lasertriangulationsbasierten Multisensorsystemen am Beispiel des Gleisvermessungssystems RACER II. Dissertation. 182 S.

Heft 92/2016

Soboth, Andrea: Gestaltete lokale Veränderungsprozesse – Change Management als neues Instrument

der Landentwicklung. Dissertation. 226 S.

[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 93/2017

Hendricks, Andreas: Bodenrichtwertermittlung. Habilitationsschrift. 244 S.

[nicht in gedruckter Form, nur digital erschienen]

Heft 94/2018

Glabsch, Jessica: Konzeption und Realisierung kosteneffizienter GNSS-Monitoring-Systeme für ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen. Dissertation. 156 S.

Heft 95/2018

Caspary, Wilhelm / Heister, Hansbert / Kleim, Uwe G. F. / Mayer, Helmut / Pietzner, Gisela (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt zum 65. Geburtstag. 181 S.

