

22. Jänner 2019 - Wien
23. Jänner 2019 - Unterpremstätten/Graz
24. Jänner 2019 - Treffen a. Ossiachersee

29. Jänner 2019 - Salzburg
30. Jänner 2019 - Innsbruck
31. Jänner 2019 - Linz

Leica
Geosystems

TOUR

TOP INFORMATIONEN
FÜR TOP GEODÄTEN

20
19



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Flächenhaftes Monitoring an einer Freiformbrücke der Koralmbahn

C. Schmitt, H. Neuner

Interdisziplinäre Analyse von Geländemodellen zur Auffindung von (prä)historischen Bergbauspuren

G. Hiebel et al.

Gewässervermessung mittels aktiver und passiver optischer Fernerkundung

G. Mandlbürger

The European Space Agency's Earth Observation Programme

W. Rathgeber

Bestimmung von Schwerefeldlösungen aus der Satellitenmission GRACE am Institut für Geodäsie der Technischen Universität Graz

T. Mayer-Gürr et al.

Pedestrian Navigation: What Can We Learn from Eye Tracking, Mixed Reality and Machine Learning

I. Giannopoulos



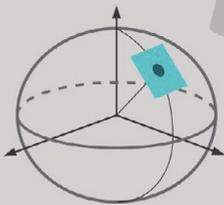
Advanced | Helmert | Austrian | Kataster

API
 Advanced-Mode
 Parameterbestimmung GIS-Grid
 Höhensysteme PDF Helmert-Mode
 ITRS Kartesisch Kataster-Mode
 Hochwert Kartendarstellung GRS80
 Ellipsoid WGS84 Rechtswert
 Reports ITRF Austrian-Mode
 UTM
 Frame
 Bessel MGI Höhen
BEV-TRANSFORMATOR
 Vermessungsverordnung
 Orthometrisch Gauß-Krüger
 ETRF Projektion

Advanced

Der Profi-Modus: Koordinatentransformationen zwischen Systemen mit Auswahlmöglichkeit aller Parameter

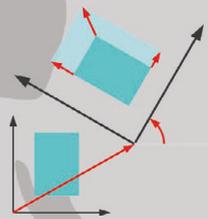
- ✓ Referenzrahmen
- ✓ Ellipsoid
- ✓ Projektion
- ✓ Bezugsmeridian
- ✓ Punktgeschwindigkeit
- ✓ Epoche



Helmert

Der Klassiker: 2D und 3D Helmert Transformationen mit eigenen Parametern oder dem Österreichweiten Satz

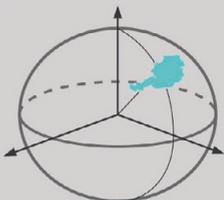
- ✓ Parameterbestimmung mit Identpunkten
- ✓ Österreichweiter Parametersatz



Austrian

Der Spezialfall: Vereinfachter Transformationsmodus für in Österreich gängige Koordinatensysteme

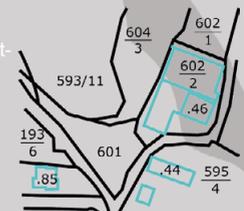
- ✓ Amtliches System MGI
- ✓ ETRS89
- ✓ GIS-Grid
- ✓ Ellipsoidische Höhen
- ✓ Orthometrische Höhen
- ✓ Gebrauchshöhen



Kataster

Für Katasterspezialisten: Zwei-Schritt Transformation gemäß der aktuellen Vermessungsverordnung

- ✓ Rahmentransformation
- ✓ Bestimmung 2D Helmert-Parameter
- ✓ Anfelderung an Festpunktfeld
- ✓ Robuste Höhentransformation





Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation

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

106. Jahrgang 2018
Heft: 3/2018
ISSN: 1605-1653

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Andreas Pammer
Stellvertreter: Dipl.-Ing. Ernst Zahn
Dipl.-Ing. (FH) Georg Topf

A-1020 Wien, Schiffamtsgasse 1-3
Internet: <http://www.ovg.at>

C. Schmitt, H. Neuner:

Flächenhaftes Monitoring an einer Freiformbrücke der Koralmbahn 174

G. Hiebel, K. Hanke, G. Goldenberg, M. Staudt, M. Scherer-Windisch:

**Interdisziplinäre Analyse von Geländemodellen zur Auffindung von
(prä)historischen Bergbauspuren** 183

G. Mandlbürger:

**Gewässervermessung mittels aktiver und passiver optischer
Fernerkundung** 195

W. Rathgeber:

The European Space Agency's Earth Observation Programme 207

T. Mayer-Gürr, S. Behzadpour, M. Ellmer, B. Klinger, A. Kvas, S. Strasser, N. Zehentner:

**Bestimmung von Schwerefeldlösungen aus der Satellitenmission
GRACE am Institut für Geodäsie der Technischen Universität Graz** 212

I. Giannopoulos:

**Pedestrian Navigation: What Can We Learn from Eye Tracking,
Mixed Reality and Machine Learning** 220

Recht und Gesetz 226

Mitteilungen 231

Tagungsberichte 233

Aus dem Vereinsleben 234

Buchbesprechungen 235

Neuerscheinungen 235

Veranstaltungskalender 236



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

106. Jahrgang 2018 / ISSN: 1605-1653

Herausgeber und Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien zur Gänze. Bankverbindung: BAWAG P.S.K., IBAN: AT21 60000 00001190933, BIC: OPSKATWW. ZVR-Zahl 403011926.

Präsident der Gesellschaft: Dipl.-Ing. Julius Ernst, Tel. + 43 1 21110-823703, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien.

Sekretariat der Gesellschaft: Dipl.-Ing. Franz Blauensteiner, Tel. +43 1 21110-822216, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien. E-Mail: office@ovg.at.

Schriftleitung: Dipl.-Ing. Andreas Pammer, Tel. +43 1 21110-825262, Dipl.-Ing. Ernst Zahn, Tel. +43 1 21110-823209, Dipl.-Ing.(FH) Georg Topf, Tel. +43 1 21110-823620, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien. E-Mail: vgi@ovg.at.

Manuskripte: Bitte direkt an die Schriftleitung senden. Es wird dringend ersucht, alle Beiträge in digitaler Form zu übersenden. Genaue Angaben über die Form der Abfassung des Textteiles sowie der Abbildungen (Autoren-Richtlinien) können bei der Schriftleitung angefordert werden bzw. sind auf <http://www.ovg.at> unter „VGI Richtlinien“ zu ersehen. Beiträge können in Deutsch oder Englisch abgefasst sein; Hauptartikel bitte mit deutschem und englischem Titel, einer deutschsprachigen Kurzfassung und einem englischen Abstract sowie Schlüsselwörter bzw. Keywords einsenden. Auf Wunsch können Hauptartikel einem „Blind-Review“ unterzogen werden. Nach einer formalen Überprüfung durch die Schriftleitung wird der Artikel an ein Mitglied des Redaktionsbeirates weitergeleitet und von diesem an den/die Reviewer verteilt. Artikel, die einen Review-Prozess erfolgreich durchlaufen haben, werden als solche gesondert gekennzeichnet. Namentlich gezeichnete Beiträge geben die Meinung des Autors wieder, die sich nicht mit der des Herausgebers decken muss. Die Verantwortung für den Inhalt des einzelnen Artikels liegt daher beim Autor. Mit der Annahme des Manuskriptes sowie der Veröffentlichung geht das alleinige Recht der Vervielfältigung und Wiedergabe auf den Herausgeber über.

Redaktionsbeirat für Review: Univ.-Prof. Dr. Johannes Böhm, Dipl.-Ing. Julius Ernst, Univ.-Prof. Dr. Werner Lienhart, Univ.-Prof. Dr. Norbert Pfeifer, Prof. Dr. Josef Strobl, O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans Sünkel und Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.iur. Christoph Twaroch

Copyright: Jede Vervielfältigung, Übersetzung, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen sowie Mikroverfilmung der Zeitschrift oder von in ihr enthaltenen Beiträgen ohne Zustimmung des Herausgebers ist unzulässig und strafbar. Einzelne Photokopien für den persönlichen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen davon angefertigt werden.

Anzeigenbearbeitung und -beratung: Dipl.-Ing. Andreas Pammer, Tel. +43 1 21110-825262, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

Erscheinungsweise: Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte). Auflage: 1000 Stück.

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

Verkaufspreise: Einzelheft: Inland 20 €, Ausland 25 €; Abonnement: Inland 60 €, Ausland 75 €; alle Preise inklusive Mehrwertsteuer. OVG-Mitglieder erhalten die Zeitschrift kostenlos.

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

Offenlegung gem. § 25 Mediengesetz

Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien zur Gänze.

Aufgabe der Gesellschaft: gem. § 1 Abs. 1 der Statuten (gen. mit Bescheid der Bundespolizeidirektion Wien vom 26.11.2009): a) die Vertretung der fachlichen Belange der Vermessung und Geoinformation auf allen Gebieten der wissenschaftlichen Forschung und der praktischen Anwendung, b) die Vertretung aller Angehörigen des Berufsstandes, c) die Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Kollegen der Wissenschaft, des öffentlichen Dienstes, der freien Berufe und der Wirtschaft, d) die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, e) die Herausgabe einer Zeitschrift mit dem Namen „Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation“ (VGI).

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



<http://www.ovg.at>



<http://www.oegk-geodesy.at>

Vorwort

Vorwort

Der Österreichische Geodätentag ist eine der wichtigsten Institutionen für die gesamte Geodäsie und Geoinformation in Österreich und schließt somit Wissenschaft, Wirtschaft und Behörden mit ein. Wesentliche wissenschaftliche Beiträge zum Geodätentag werden von der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) gestaltet. Die Vision der ÖGK ist durch Forschung auf allen Gebieten der Geodäsie zum nachhaltigen Wohle der Gesellschaft und der Wirtschaft in Österreich und darüber hinaus beizutragen. Die ÖGK berät, laut Statuten, die Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. Sie vertritt die Belange Österreichs in der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) und ist offizielle Verbindungsstelle Österreichs mit der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG).

Der Beitrag der ÖGK zum Geodätentag 2018 in Steyr waren zwei Sessions am 16. Mai. Unter dem Motto „Geodäsie in Bewegung“, stellten zuerst junge Wissenschaftler der TU Wien und der Universität Innsbruck ihre Beiträge zum Thema Ingenieurgeodäsie (Claudius Schmitt) und Geländemodellanalyse (Gerald Hiebel) vor, gefolgt von einem Vortrag der Universität Stuttgart (Gottfried Mandlbürger) zum Thema Bathymetrie. Der zweite Teil umfasste das Erdbeobachtungsprogramm der ESA (Wolfgang Rathgeber) und, von der TU Graz vorgestellt, die Anwendungen der GRACE-Satellitenmissionen (Norbert Zehentner). Abgeschlossen wurde das ÖGK-Programm durch den neuen Geoinformationsprofessor der TU Wien (Ioannis Giannopoulos) mit einem Vortrag zum Thema Eye-Tracking und Navigation.

Die Vorträge wurden sehr gut aufgenommen und haben unmittelbar zu Diskussionen geführt. Die Beiträge der Vortragenden sind in diesem Band der VGI zusammengefasst. Dieser Band zeigt somit in sechs ausgezeichneten Beiträgen auf höchstem wissenschaftlichen Niveau die Breite der Forschung im Bereich der ÖGK, und die bewegte, sich laufend entwickelnde Forschung in Österreich und darüber hinaus. Die ÖGK bedankt sich bei der OVG, die das vorliegende Heft der vgi ermöglicht hat.

*Norbert Pfeifer
Präsident der ÖGK*



Flächenhaftes Monitoring an einer Freiformbrücke der Koralmbahn

Surface based monitoring on a freeform shell at the Koralmbahn

Claudius Schmitt und Hans Neuner, Wien

Kurzfassung

Im Rahmen eines neuen Bauverfahrens einer Wildbrücke für die Koralmbahn des ÖBB-Bauabschnitts Aich-Mittlern ist der Forschungsbereich Ingenieurgeodäsie an der TU Wien mit der baubegleitenden geometrischen Erfassung und Auswertung des Objekts betraut worden. Dabei lautet die gestellte Hauptanforderung: Entwicklung eines redundanten und autarken Monitoringsystems, das flächenhafte Veränderungen der Geometrie während der einzelnen Bauphasen detektiert und ein geometrisches Ist-Modell auf Basis einer Freiformflächen für strukturelle Berechnungen zur Verfügung stellt.

Schlüsselwörter: Flächenhaftes Monitoring, Freiformflächen, Approximation

Abstract

During the construction process of a deer pass at the ÖBB Koralmbahn-construction stage Aich-Mittlern, over a new two-lane railway track, the research group engineering geodesy of the TU Wien provides the geometric monitoring. The main task was to develop a redundant and independent monitoring system to detect surface-based deviations between the different construction processes and to produce a geometric model based on freeform surfaces for the structural analysis.

Keywords: surface-based monitoring, freeform surfaces, approximation

1. Einleitung

Das neue Bauverfahren „Pneumatik forming of hardened concrete“, welches am Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien entwickelt wurde, kam bei der Wildbrücke der Koralmbahn erstmalig in den realen Einsatz. Bei diesem Verfahren wird eine ebene ausgehärtete Betonplatte durch Hebung mittels aufblasbarem Pneu und Zugspannlitzen am unteren Rand in eine zweifach gekrümmte Betonkuppel verformt, siehe Abbildung 1. Diese erste Betonkuppel wird im Bereich der späteren Brücke um das dreifache der Schalendicke verstärkt in herkömmlicher Betonbauweise. Aufgrund der verbesserten strukturellen Eigenschaften dieser Kuppel basierend auf einer

optimierten Geometrie für den Lastendzustand lässt sich eine Materialersparnis von bis zu 30% erreichen [1].

Infolge der geometrischen Formoptimierung reagiert die Wildbrücke sensibler auf geometrische Imperfektionen als herkömmliche Brückenbauwerke. Dabei unterscheiden sich die maximal zulässigen Formabweichungen je nach Bauprozess und Position am Objekt.

Bei einer Überschreitung der maximal zulässigen Formabweichung ist das Tragverhalten der Wildbrücke mit der IST-Geometrie neu zu berechnen, um geeignete Ausgleichsmaßnahmen einleiten zu können.



Abb. 1: Schale in ebenem (links) und in gehobenem (rechts) Zustand

Die einzelnen Kapitel spiegeln den grundsätzlichen Workflow in diesem Projekt aus geodätischer Sicht wieder, angefangen mit der Vorstellung des Monitoring Konzepts und den Anforderungen an die Messaufgabe erläutert in Kapitel 2 und weiter geführt in Kapitel 3 mit der Definition der genutzten Koordinatensysteme. Kapitel 4 beschreibt das Monitoringkonzept mit der punktbezogenen und der flächenhaften Aufnahme gefolgt von Kapitel 5, welches die punktbezogene Auswertung und Validierung der Messdaten enthält. Kapitel 6 zeigt die Aufbereitung der flächenhaften Messungen für die strukturelle Berechnung. Die Zusammenfassung und ein kurzer Ausblick bilden den Abschluss in Kapitel 7.

2. Monitoringkonzept

Aufbauend auf den Anforderungen des Projekts an die Ingenieurgeodäsie ist das Monitoringsystem konzipiert worden. Diese Anforderungen lassen sich durch 5 Punkte beschreiben:

1. Analytische Beschreibung der aktuellen Geometrie für die Verwendung in strukturellen Berechnungen
2. Flächenhafte Beschreibung der Verformung
3. Toleranzwert für die zu erfassende geometrische Verformung: $10\text{ cm} \rightarrow 1\sigma \sim 2\text{ cm}$
4. Verfügbares Zeitfenster von einem Tag für
 - Messung
 - Auswertung (Verformung und Flächenapproximation)
5. Autark operierende Sensoren über einen Zeitraum von 2 Monaten (keine Zugangsmöglichkeit).

Zur Einhaltung dieser Anforderungen ist aus geodätischer Sicht folgendes einzurichten:

1. Definition von Koordinatensystemen, insbesondere eines Referenzkoordinatensystems, realisiert durch den Aufbau und die Einmessung eines klassischen Festpunktfeldes.
2. Objektmonitoring
 - Manuelle Netzmessung
 - Autarkes Monitoring (Automatische Erfassung und automatische/semiautomatische Auswertung)

3. Festlegung der Koordinatensysteme und deren Realisierung

Zusätzlich zum Referenzkoordinatensystem sind drei weitere Koordinatensysteme einzuführen, um einerseits den Einfluss der Lasteinträge aus den verschiedenen Abschnitten des Bauprozesses auf die Geometrie direkt darstellen zu können und andererseits den Anforderungen an die Geometrie für die strukturelle Berechnung gerecht zu werden.

3.1. Globales Koordinatensystem

Das Festpunktdesign hat einen hierarchischen Aufbau von Punktgruppen entsprechend ihrer Stabilitätseigenschaften, angefangen mit gesicherten Beobachtungspunkten (1), ungesicherten Beobachtungspunkten (2) und Objektpunkten (3), [2].

Realisiert ist das Referenzkoordinatensystem als Baustellennetz basierend auf vier ÖBB-Festpunkten (1) in einer nahezu quadratischen Anordnung um die Wildbrücke. Dieses ist definiert als

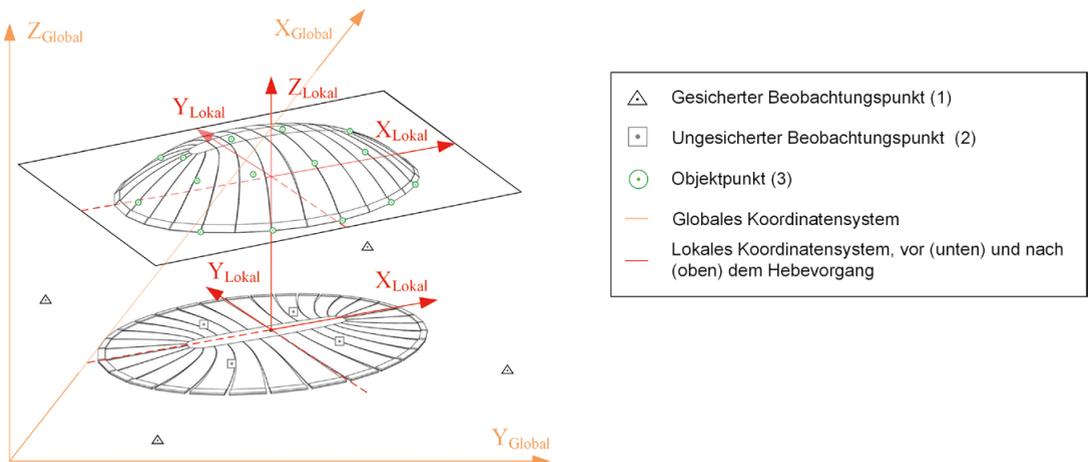


Abb. 2: Schematischer Überblick der Koordinatensysteme, der Beobachtungs- und Objektpunkte

kartesisches 3D Koordinatensystem und gelagert als horizontbezogenes 2,5D auf den vier ÖBB-Festpunkte mit zusammengeführten 2.5D-Koordinaten aus Lage und Höhe ohne Berücksichtigung von geometrischen Reduktionen. Das Netzdesign resultierte infolge einer a priori Netzoptimierung mit Abschätzung der zu erwartenden Genauigkeiten unter Berücksichtigung der äußeren Einflüsse (Sichtverbindung, Bauprozessablauf, geometrisch relevante Objektpunkte, ...).

Um im Inneren der Schale für das spätere Monitoring der Objektpunkte (3) den Anschluss ans Baustellenetz zu gewährleisten, ist die Netzgeometrie der Festpunkte um Kugelprismenaufnahmen (2) (Nester) auf der Bodenplatte erweitert worden. Eine zusätzliche Stützung dieses sogenannten „inneren“ Netzes erfolgte durch weitere Nester auf Höhe der Fundamente an den inneren Rändern der Schale, siehe Abbildung 2. Der Grund für den Einsatz von Kugelprismen besteht in der optimalen Verknüpfung zweier Messsysteme, der tachymetrischen Prismenmessung auf den Kugelmittelpunkt und des Nivellements über die Kugelaußenseite. Dabei ist lediglich beim Letzteren die Reduktion um den Kugelradius auf den Mittelpunkt erforderlich.

In diesem Koordinatensystem lassen sich die absoluten Abweichungen gegenüber dem SOLL Zustand des Objektes ableiten. Diese absoluten Abweichungen resultieren aus einer Kombination von Einflüssen aus den einzelnen Abschnitten des Bauprozesses:

- Absteckung und Schalungsbau
- Starrkörperbewegung während des Hebevorgangs
- Lokale geometrische Veränderungen während des Hebevorgangs

3.2. Lokales Koordinatensystem zur Beschreibung der SOLL-Geometrie

Das lokale Koordinatensystem orientiert sich an den Hauptachsen des Objektes, wobei die untere Kante der Schale die X-Y Ebene definiert und die Ausrichtung der Achsen den Hauptachsen der Schalenfigur entsprechen. Der Hauptachsenschnittpunkt definiert den Nullpunkt des Koordinatensystems mit der Z-Achse senkrecht auf der X-Y Ebene, siehe Abbildung 2. Auf dieses Koordinatensystem bezieht sich das Design und die Optimierung der Geometrie für den Bauprozess und die strukturelle Belastungen.

3.3. Lokale Koordinatensysteme zur Beschreibung der IST-Geometrie

Zur Beschreibung der IST-Geometrie sind zwei Koordinatensysteme definiert worden, deren Datum im folgenden Kapitel erläutert wird. Das erste Koordinatensystem, mit Restriktionen, wird für die Beschreibung der IST-Geometrie in der strukturelle Berechnung verwendet, da dieses eine klare Unterkante der IST-Geometrie und somit einen klaren Anschluss zum Fundament festlegt. Das Datum zwischen den beiden genannten Koordinatensystemen entspricht der Starrkörperbewegung der Schale während des Hebevorgangs.

Das zweite Koordinatensystem, ohne Restriktionen, wird zur Darstellung relativer geometrischer Veränderungen der Schale gegenüber der SOLL-Geometrie ohne die Anteile der Starrkörperbewegung verwendet. Das Datum entspricht einer bestmöglichen Anpassung der IST-Geometrie gegenüber der SOLL-Geometrie.

3.4. Beziehung zwischen den Koordinatensystem der SOLL- und IST-Geometrie

Die Elemente des Datums des ersten Koordinatensystems mit Restriktionen werden getrennt voneinander festgelegt. Dabei spannt die Ebene, geschätzt aus der Punktwolke der Bodenplatte, die X-Y Ebene des Koordinatensystems auf und definiert die Rotation um die X- und Y-Achse, sowie den Nullpunkt in Z Richtung, der auf der Ebene liegt. Die Rotation um die Z-Achse und die Translationen der X- und Y-Richtung werden flächenhaft mithilfe eines Teilausschnittes der Punktwolke bestimmt. Der Ausschnitt entspricht einem ein Meter hohem horizontalem Bad beginnend von der Bodenplatte. Dieser Ausschnitt entspricht überdies dem verformungsärmsten Bereich der Schale, sodass mithilfe des ICP (Iterative closest point algorithm) zwischen der SOLL- und IST-Punktwolke jeweils mit gleicher Auflösung die genannten Parameter geschätzt werden können. Die Bestimmung der Datumparameter erfolgt stufenweise äquivalent zu der Abfolge im Text.

Das Datum des zweiten Koordinatensystems ohne Restriktionen wird über eine flächenhafte bestmögliche Anpassung der gesamten Punktwolke an die SOLL-Geometrie festgelegt. Dabei werden alle Datumselemente, die drei Rotationen und drei Translationen, auf einmal geschätzt. Dies erfolgte mittels ICP unter Verwendung der vollständigen IST-Punktwolke und einer Sollpunktwolke mit gleicher Objektauflösung. Eine bestmögliche

Anpassung über die Prismen allein ergab kein repräsentatives Ergebnis aufgrund des geringen Diskretisierungsgrades der Schale.

4. Realisierung des Objekt Monitoring

Zur geometrischen Untersuchung des Objekts wurden während der Bauphase epochale Messungen in Form von manuellen Einzelmessungen und dauerhaften Messungen, die automatisch durch stationäre Sensoren erfolgten (autarkes Monitoring), durchgeführt. Die Messungen erfolgten jeweils flächenhaft durch einen terrestrischen Laserscan und punktuell durch definierte Prismen. Erfasst wurde jeweils die Unterseite der Schale im gehobenen Zustand. Die Referenzierung beider Messverfahren erfolgte über die Nester am Boden (siehe Kapitel 3.1).

Die erste Formkontrolle (0. Epoche) wurde nach der Stabilisierung der gehobenen Schale und nach dem Einbringen des Monitoringequipments erstellt. Mit der anschließenden Herstellung der Erdrampen fand, bedingt durch den täglich veränderten Lastzustand infolge der kontinuierlichen Aufschüttmaßnahmen, das zwei monatige Monitoring statt. Danach sind einzelne Messungen im größeren zeitlichen Abstand jeweils nach Veränderung des Lastzustandes ausgeführt worden. Beispielhaft hierfür sei die Fertigstellung der Sichtschutzfundamente mit 77 t streifenförmiger direkter Auflast, der Abbruch der Bodenplatte mit der Durchtrennung des Zugbandes und die Schlussvermessung des Bauwerkes genannt. Der

Abbruch der Bodenplatten mit dem enthaltenen Zugband erforderte einen gesonderten Messaufbau, da die Anforderungen an die Genauigkeit zur signifikanten Detektion von Fundamentverschiebungen quer zur Durchgangsrichtung um den Faktor 10 ($1\sigma \sim 2\text{ mm}$) höher waren als in den bisherigen Abschnitten. Zur Vergleichbarkeit der Datensätze erfolgte die Referenzierung über das eingerichtete Baustellenfestpunktfeld.

Besondere Anforderungen waren an die Zuverlässigkeit des autarken Monitoringsystems gestellt, die entsprechend eine redundante Auslegung des Gesamtsystems implizierte. Die Redundanz zur Erfassung der Geometrie bildeten zwei Messmethoden: Einerseits die punktbezogene Erfassung über 28 Prismen und zwei Tachymetern und andererseits eine reflektorlose flächenhafte Aufnahme mit einer scannenden Totalstation.

Die Ansteuerung geschah wahlweise über eine Funk- (WLAN) oder Kabelverbindung von zwei miteinander verbundenen mini PC's aus. Darüber hinaus gab es weitere Komponenten zur Kommunikation zwischen den Geräten und der Erfassung der atmosphärischen Bedingungen. Alle Komponenten erhielten ihre Energie über einen 12V Stromkreis, der mit Notstromkomponenten ausgestattet war und im Falle eines Ausfalls des Baustellengenerators einen Ein-Tagesbetrieb des Systems sicherstellte. Die Erfassung und ersten Schritte der Datenauswertung erfolgten vollautomatisch. Es bestand die Möglichkeit eines Fernzugriffs zur Wartung und Steuerung des Systems.

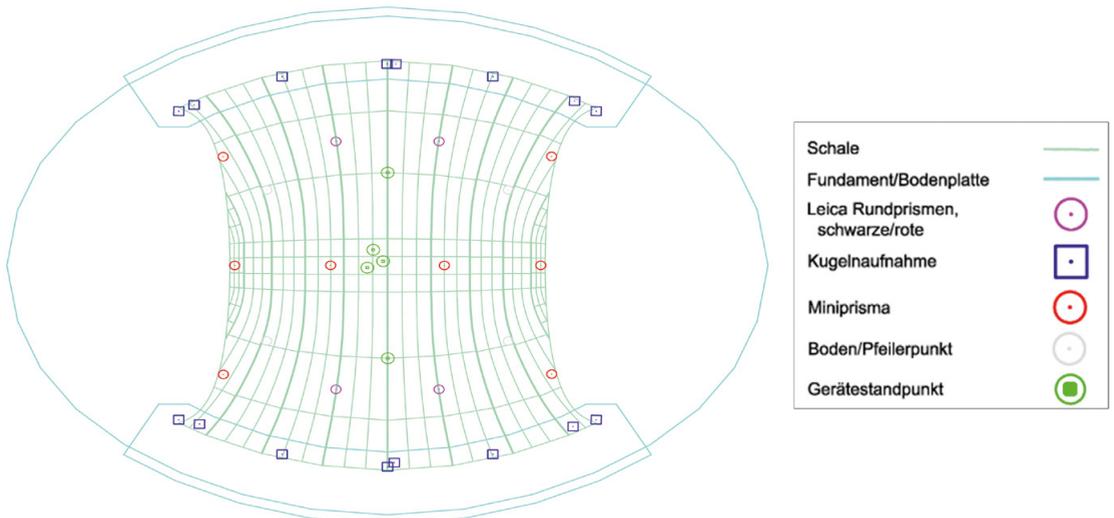


Abb. 3: Prismenanordnung innerhalb der Schale

Das gesamte Mess- und Auswertesystem ist eine Eigenentwicklung der TU Wien und bietet Erweiterungsmöglichkeiten für weitere Sensoren. Die Zuordnung des Baufortschritts zu resultierenden Geometrieveränderungen zeigten Webcamaufnahmen im Außenbereich der Schale.

Alle erzeugten Daten innerhalb eines Monitorings sind über die Ethernet Schnittstelle und NTP zeitlich referenziert. Dies ist wichtig, um die Daten aller Sensoren miteinander vergleichen und um den zeitlichen Verlauf der Messungen mit ggf. aufgetretenen Verformungen abbilden zu können.

Der Messaufbau für das Monitoring und für die epochalen Messungen sind in Abbildung 3 dargestellt. Die zwei Tachymeter Leica TS16 und die scannende Totalstation Leica MS60 sind in der Nähe des Nullpunkts des Lokalen Koordinatensystems positioniert. Dies bietet einerseits den Vorteil kleiner Auftreffwinkel bei der reflektorlosen Distanzmessung und andererseits die Möglichkeit mit allen drei Geräten die gleichen Referenzpunkte am Boden für die Stationierung anzumessen. Die 28 Prismen wurden in vier Höhen homogen auf die Fläche verteilt: Auf der Bodenplatte, 0,5 m über der Bodenplatte, in ca. 4 m Höhe und an der höchsten Stelle der Schale in ca. 8 m Höhe. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die Prismen entlang der späteren Portalkanten verlaufen. Die restlichen Monitoringkomponenten wurden möglichst in den Außenbereich der Schale verlagert, um unmittelbaren Zugriff zu gewährleisten, da das Innere der Schale nach dem Einbringen des Equipments nicht mehr betreten werden durfte.

Die Messzyklen während des zweimonatigen Monitorings wurden für die Prismenmessungen bei einer Messdauer von 10 Minuten auf 1 Stunde festgelegt. Dabei wurden die beiden Tachymeter um 30 Minuten versetzt gestartet, um gegenseitige Beeinflussung während der Messung zu vermeiden. Somit stand alle 30 Minuten eine punkt-basierte Messepoche zur Verfügung. Die Prismenmessungen wurden unmittelbar vollautomatisch ausgewertet. Meldungen auf signifikante Verschiebungen wurden automatisch erstellt und an die Bereitschaftsstelle weitergeleitet.

Die flächenhafte Messung fand im 12 h-Intervall statt und wurde jeweils um 7 und 19 Uhr gestartet. Die Messzeit betrug 8,5 h bei einer Objektauflösung von maximal 3 cm.

In den Einzelepochen ist jeweils eine punkt-basierte Messung auf Prismen und eine flächenhafte

Aufnahme durchgeführt worden. Zur Beschleunigung der flächenhaften Aufnahme kam eine 2-Standpunktlösung zum Einsatz, die über das Referenzfestpunktfeld verknüpft wurde. Die Kombination der Messmethoden war schnell genug, um auf geometrische Veränderungen im Bauprozess reagieren zu können.

Schwierigkeiten während der Messung sind bei äußeren Bedingungen mit anhaltend hoher Luftfeuchtigkeit aufgetreten. Diese führte vereinzelt zur Kondenswasserbildung auf den Prismen und auf der Innenseite der Schale. Folglich konnten weder Prismen noch die Oberfläche reflektorlos angemessen werden, was zu Fehlstellen in der Punktwolke führte. Die Größe der Fehlstellen stellte für die Verformungsanalyse kein Problem dar. Sie war jedoch für die Flächenmodellierung und die strukturmechanische Berechnung relevant, da diese auf ein geschlossenes geometrisches Modell beruhen (siehe Kapitel 6).

5. Auswertung

Die Auswertung erfolgte in drei Schritten. Der erste bezieht sich auf die klassische geodätische Ausgleichung des Baustellennetzes (des Referenzrahmens), während der zweite die Verformungsanalyse als Zielsetzung hat. Der dritte Schritt beinhaltet die Modellierung der Punktwolke für die strukturmechanische Berechnung und wird gesondert im 6. Kapitel behandelt.

Die Netzausgleichung erfolgte in drei Schritten mit der Software Panda beginnend mit einer Lageausgleichung (2D) zur Bestimmung der Lagekoordinaten der Bodenpunkte. Als zweites wurden die Nivellementbeobachtungen von den ÖBB Pfeilern über die Bodenpunkte separat als Höhennetz ausgeglichen. Die beiden Ergebnisse wurden anschließend in einer dritten 3D-Netzausgleichung zusammengeführt, wobei die Höhen auf den Kugelmittelpunkt der Kugelprismen reduziert wurden. Die Lagerung in den 1D und 2D Ausgleichungen erfolgte mit Teilspurminimierung der ÖBB-Punkte. Das 3D-Netz wurde hingegen weich auf diese Punkte gelagert, da eine Einzelkomponentenlagerung nicht unterstützt wird. Das erzielte Ergebnis lag innerhalb der Genauigkeitsanforderungen mit der maximalen Standardabweichung aller Netzpunkt von $\rightarrow 1 \sigma_{apost} \sim 0.4 \text{ mm}$. Dies konnte durch eine Kontrollmessung vor dem Abbruch der Bodenplatte bestätigt werden.

Die Verformungsanalyse auf Basis der punkt-basierten Prismen-Messungen erfolgte nach dem Kongruenzmodell der Deformationsanalyse [2].

Hierbei werden die Verschiebungen zwischen den definierten Prismenpunkten und die zugehörigen Kovarianzmatrizen geschätzt und mithilfe des Hypothesentests auf eine signifikante Verschiebung hin untersucht. Nach Abschluss jeder gemessenen Epoche erfolgte ein Kongruenztest mit den Ergebnissen der 0. Epoche sowie mit denen der letzten Epoche aller Punkte vollautomatisch.

Die flächenhafte Abweichung ist abgeleitet aus der rohen Punktwolke. Im Vergleich zur Prismenuntersuchung konnte keine Analyse nach dem Kongruenzverfahren durchgeführt werden, da keine direkte Punktzuordnung möglich ist und das stochastische Modell für die reflektorlose Distanzmessung aktueller Forschungsgegenstand ist [3], [4]. Als erstes Auswertergebnis ist eine Abweichung zwischen der geplanten SOLL-Geometrie und der IST-Geometrie berechnet worden.

Die SOLL-Geometrie ist durch ein flächenhaftes Modell (B-Spline Fläche, siehe Kapitel 6) beschrieben, während die IST-Geometrie durch die gemessene Punktwolke repräsentiert wird. Analog zur Prismenauswertung fanden auf Basis der erstellten Punktwolken Vergleiche zur IST-Geometrie der 0. bzw. der letzten Epoche statt. Zur Bestimmung der Abweichungen kam der M3C2 Algorithmus [5] zum Einsatz. Dieser schätzt in der Nachbarschaft eines jeden Punktes der Referenzgeometrie eine Ebene. Der Normalenvektor wird in diesem Punkt als Richtung für die Abweichung verwendet. Der Betrag resultiert als Abstand zwischen der Ebene und dem zum Normalenvektor nächstgelegenen Punkt der zu vergleichenden Punktwolke. Das Vorgehen entspricht einem Lotfußpunktverfahren.

Über die Modellierung der Punktwolke wäre ein Vergleich auf Basis der Kongruenzanalyse realisierbar. Ein entsprechendes Flächenmodell wäre jedoch für die strukturelle Berechnung nicht verwendbar. Der größte Unterschied besteht in der Erstellung einer generalisierten oder geglätteten Oberfläche, die zu Informationsverlust der Oberfläche führt und die Deformationsanalyse beeinträchtigt. Darüber hinaus gibt es weitere Merkmale, die in Kapitel 6 ausführlich beschrieben werden. In dieser Arbeit lag der Schwerpunkt auf der Modellierung der Geometrie für strukturelle Berechnungen. Die Feststellung der Abweichungen aus den rohen Punktwolken nach der oben beschriebenen Vorgehensweise war für die Einschätzung einer erforderlichen Neuberechnung der Statik auf Basis der IST-Geometrie ausreichend.

Eine Vorgehensweise zur Gegenüberstellung der flächenhaften Abweichungen, die auf Basis modellierter Punktwolken hergeleitet wurden, und Abweichungen aus der Prismenmessung wurde in der Masterarbeit von Johannes Falkner vorgestellt. Die Grundidee ist dem M3C2 Algorithmus angelehnt, wobei die Abweichungsrichtung diesmal aus der ersten Ableitung ($k=1, h=1$) der modellierten B-Spline Fläche,

$$\frac{\partial^{k+h}}{\partial^k u_C \partial^h v_C} C(u_C, v_C) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p_{u_C}}^{(k)}(u_C) N_{j,p_{v_C}}^{(h)}(v_C) P_{i,j} \quad (5.1)$$

berechnet wird. $N_{i,p_{u_C}}$ und $N_{j,p_{v_C}}$ beschreiben die Basisfunktionen, p_{u_C} und p_{v_C} den Grad der jeweiligen Basisfunktionen, $n+1$ und $m+1$ die Anzahl von Kontrollpunkten $P_{i,j}$, jeweils in u und v Richtung. $C(u_C, v_C)$ entspricht dem ausgeglichenen Punkt auf der B-Spline Fläche.

Der berechnete Lotfußpunkt des Prismas liegt ebenfalls auf der modellierten B-Spline Fläche. Approximiert wurde die B-Spline Fläche aus der Punktwolke, genauer beschrieben im nachfolgenden Kapitel. Die Bestimmung des Lotfußpunktes erfolgt iterativ. Dabei wird der Lotfußpunkt so lange auf der B-Spline Fläche verschoben, bis die Lotrichtung durch den Prismenpunkt verläuft. Danach steht pro Epoche ein Prismenpunkt und ein Lotfußpunkt auf der B-Spline Fläche zur Verfügung. Verglichen werden nun die epochalen Differenzen zwischen den Lotfußpunkten bzw. zwischen den Prismenpunkten. Der Betrag und die Verschiebungsrichtung wurde wie in Abbildung 4 beispielhaft gegenübergestellt [6].

Auffällig ist die gute Übereinstimmung der Verschiebungsbeträge. Dies zeigt, dass das Verfahren grundsätzlich vielversprechend ist. Wie Abbildung 4 rechts zeigt, kann es jedoch vorkommen, dass sich die Verschiebungsrichtung bei kleinen Verschiebungswerten grob unterscheidet. In zukünftigen Arbeiten gilt es solche Diskrepanzen näher zu analysieren. In einem ersten Schritt soll die Einbeziehung der stochastischen Eigenschaften der Messungen eine Beurteilung dieser Richtungsabweichung in Bezug dazu ermöglichen.

6. Strukturmechanische Berechnung

Die Aufbereitung der IST-Geometrie erfolgte über die Approximation der Punktwolke durch eine kontinuierliche B-Spline Fläche. Die Anforderungen an diese Fläche ergaben sich einerseits

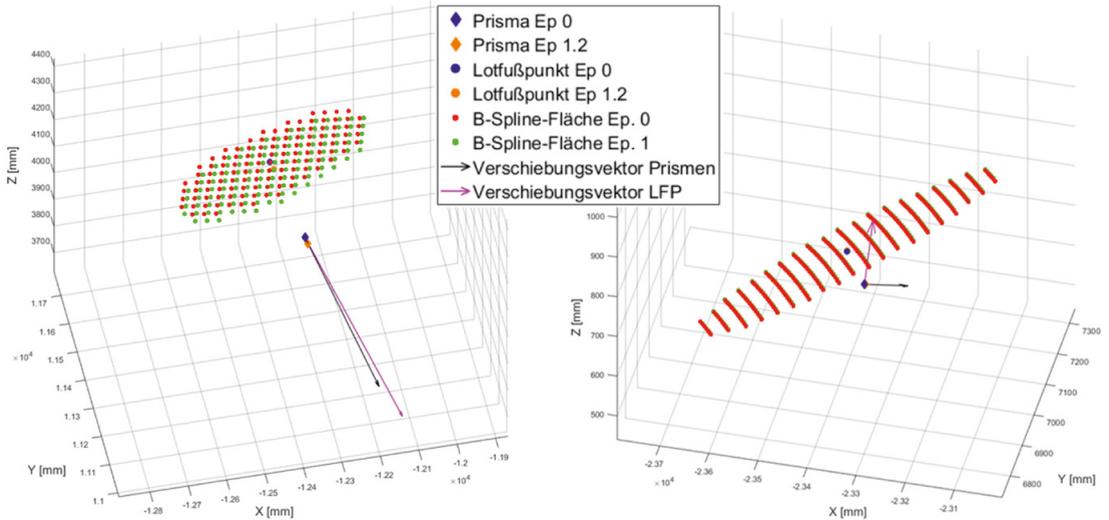


Abb. 4: Vergleich modellierte Punktwolke zu Prismenmessung, links: Δ Punktwolke: 11,3 mm – Δ Prisma: 9,3 mm rechts: Δ Punktwolke 1,5 mm – Δ Prisma: 1,4 mm

aus den notwendigen Eigenschaften im Finite Elemente Modell (FEM) und andererseits aus der eingesetzten Software.

Als Schätzverfahren für die Flächenparameter ist das klassische Gauß-Markov Modell zum Einsatz gekommen [7]. Approximiert wird die mittels scannender Totalstation gemessene Punktwolke durch das B-Spline Flächenmodell unter Zuhilfenahme der parametrischen Darstellung. Bei dieser Form ist jedem gemessenen Punkt C in kartesischen Koordinaten (x, y, z) ein homologer Punkt im Parameterraum (u_C, v_C) zugeordnet:

$$\hat{C}(u_C, v_C) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{i,p_{u_C}}(u_C) N_{j,p_{v_C}}(v_C) P_{i,j} \quad (6.1.)$$

Als Beobachtungen im Schätzverfahren dienen die Einzelpunkte C der Punktwolke. Geschätzt werden die Kontrollpunkte der B-Spline Fläche $P_{i,j}$. Zuvor werden für jeden Punkt mithilfe der Projektion auf die Soll-Fläche homologe Parameter (u_C, v_C) abgeleitet. Der Grad der Basisfunktionen in beiden Richtungen wurde auf drei festgelegt. Die Anzahl der Kontrollpunkte ist von der FEM Software auf 100 begrenzt. Um die Anforderung der strukturmechanischen Berechnung an eine klare Fundamentkante zu erfüllen, sind entsprechende Nebenbedingungen für den Flächenrand eingeführt worden. Diese zwingen die Flächen-

ränder auf einen Horizont, der wie in Kapitel 3.4 beschrieben, in der Ebene $Z=0$ liegt.

Das stochastische Modell fließt als Einheitsmatrix in das Gauß-Markov-Modell ein.

Die in der Abbildung 5 dargestellten Residuen resultieren aus zwei Quellen:

- Messabweichungen
- Abweichungen der IST-Geometrie von einer B-Spline Fläche aufgrund der generalisierten/geglätteten Geometrie

Die Messabweichung bezieht sich auf die immanente zufällige Abweichung einer Beobachtung. Der geometrische Fehler entspricht dem Generalisierungsfehler, der eine Geometrieabweichung aufgrund der geglätteten Oberfläche aufweist. Diese spiegeln sich in regelmäßigen wellenartigen Muster in den Residuen wieder. Trotz der Residuenbeträge von bis zu 8 cm entlang der Elementkanten der Schale erfüllt das Ergebnis die gesetzten Anforderungen. An diesen Stellen verbirgt sich ein zurückversetzter Freiraum der die kontinuierliche Oberfläche unterbricht und durch die Approximation interpoliert werden muss. Die geschätzte kontinuierliche Fläche ist in Abbildung 6 dargestellt.

Aufgrund der Schalenform wird die so erzeugte Geometrie als Schalentragswerk berechnet und nicht als geometrisches Volumenmodell. Diese Schale entspricht einer mittleren Niveaufläche des

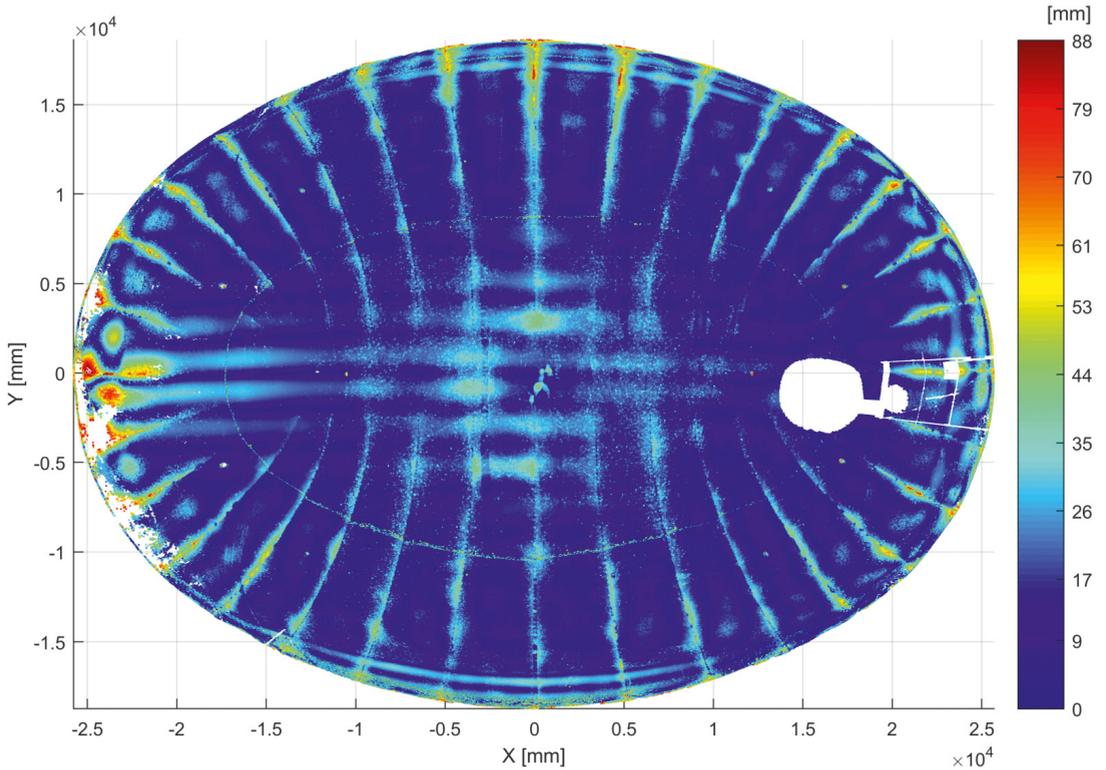


Abb. 5: Residuen der B-Spline Approximation

Baukörpers und repräsentiert dessen statische Eigenschaften. Im Vergleich zur gemessenen Oberfläche entspricht diese einer generalisierten oder geglätteten Oberfläche verschoben ins Innere des Baukörpers, die in einem lotrechten Koordinatensystem definiert ist, um die Belastung (Eigengewicht und externe Belastung) entsprechend der Schwerkraft im FEM modellieren zu können.

Über die FE-Netzgenerierung wird die Geometrie in das FEM eingebracht. Dieser Schritt des Netzdesigns ist entscheidend für eine zuverlässige Tragwerksanalyse im Belastungsfall. Die Bausteine sind eine kontinuierliche Fläche mit klaren Kanten zu den Lastübergangspunkten (Fundamente). Auf dieser kontinuierlichen Fläche erzeugt der Netzgenerator automatisch ein FE-Netz mit möglichst hoher analytischer Lösungsstabilität.



Abb. 6: CAD Darstellung der Approximierten B-Spline Fläche

Das Netz kann je nach Verformung des Objektes und den Schwellwertdefinitionen eine andere Geometrie (Dreiecks-, Vierecksvermaschung, ...) oder einen anderen Diskretisierungsgrad (Kantenlänge der Einzelobjekte) erreichen. Kanten werden dabei immer direkt von der Geometrie abgegriffen, sodass Löcher auf Grund von fehlenden Messwerten trotz kontinuierlichem Objektverlauf durch die Flächenapproximation interpoliert werden müssen. Die Definition der Schwellwerte hängt meist von dem eingesetzten Softwareprodukt ab und muss bei Bedarf angepasst werden. Gleiches gilt für die Schnittstelle zum Einlesen der Geometrie. Diese Schnittstelle stellte hier das „iges“ oder „iges“ Dateiformat dar. Der Vorteil dieses Dateiformats ist die vollständige parametrische Unterstützung der B-Spline Flächenfunktion ohne vorherige Interpolationen der Geometrie, wie diese z.B. beim „.stl“ Dateiformat als Repräsentation der B-Spline Fläche durch eine eigens gewählte Dreiecksvermaschung geschieht. Eine weitere Rahmenbedingung der eingesetzten Software RFEM der Firma Dlubal ist die Beschränkung der maximalen Anzahl von Kontrollpunkten der B-Spline Fläche auf 100 ($m * n = 100$).

7. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Projekt konnte ein leistungsstarkes autarkes Monitoringsystem für die baubegleitende ingenieurgeodätische Formüberwachung einer Freiformschale entwickelt und unter realen Bedingungen zur Anwendung gebracht werden.

Gleichzeitig wurden aktuelle Forschungsinhalte zu flächenhaften Auswerteverfahren in der Praxis eingesetzt. Diese beziehen sich insbesondere auf die Ableitung von kontinuierlichen B-Spline Flächen aus Punktwolken. Für die Verwendung dieser Flächen in strukturmechanischen Berechnungen ist ein Workflow von der Aufnahme über die Modellierung und Berücksichtigung der Software-schnittstelle hin zur strukturmechanischen Berechnung entwickelt worden. Berücksichtigt wurden dabei von Beginn an die Anforderungen der strukturmechanischen Berechnungen an die zu erstellende Geometrie in Form von festgelegten Koordinatensystemen und der gewählten geometrischen Modellierungselemente.

Abschließend sind Ansätze eines Verfahren gezeigt worden, um Aussagen zur Qualität der approximierten B-Spline Fläche im Vergleich zu klassischen Prismenmessungen treffen zu können. Dieses Verfahren ist aktueller Forschungsgegenstand und wird in der Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie weiterentwickelt.

Referenzen

[1] *B. Kromoser*: Pneumatisches Verformen von ausgehärtetem Beton. TU Wien Vienna, 2015.

- [2] *O. Heunecke, H. Kuhlmann, W. Welsch, A. Eichhorn, und H. Neuner*: Handbuch Ingenieurgeodäsie: Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Wichmann Verlag, 2013.
- [3] *D. Wujanz, M. Burger, M. Mettenleiter, und F. Neitzel*: An intensity-based stochastic model for terrestrial laser scanners. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., März 2017, 125, 146–155.
- [4] *M. Zamecnikova und H.-B. Neuner*: Investigation of the distance dependence of the combined influence of the incidence angle and the surface roughness on the reflectorless distance measurement of a scanning total station. Allg. Vermess.-Nachrichten AVN Begutachtete Beitr., 2017, 124, 11–12, 353–361.
- [5] *M. R. James, S. Robson, und M. W. Smith*: 3-D uncertainty-based topographic change detection with structure-from-motion photogrammetry: precision maps for ground control and directly georeferenced surveys. Earth Surf. Process. Landf., Sep. 2017, 42, 12, 1769–1788.
- [6] *J. Falkner*: Flächenhaftes Monitoring einer Freiformschale. Wien, 2017.
- [7] *C. Schmitt, H. Neuner, I. Neumann, J. Piehler, M. Hansen, und S. Marx*: Erstellung von Ist-Geometrien für strukturmechanische Berechnungen. Beiträge zum 17. Internationalen Ingenieurvermessungskurs Zürich, A. Wieser, Hrsg. Heidelberg, Wichmann Verlag, 2014, 37–48.

Anschrift der Autoren

Univ.-Ass. Claudius Schmitt MSc., Technische Universität Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29/ E120.5, 1040 Wien.
E-Mail: claudius.schmitt@geo.tuwien.ac.at

Univ.Prof. Dr.-Ing. Hans Neuner, Technische Universität Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Gußhausstraße 27-29/ E120.5, 1040 Wien.
E-Mail: hans.neuner@geo.tuwien.ac.at

Interdisziplinäre Analyse von Geländemodellen zur Auffindung von (prä)historischen Bergbauspuren

Interdisciplinary analysis of digital elevation models for the discovery of (pre)historic mining sites



Gerald Hiebel, Klaus Hanke, Gert Goldenberg, Markus Staudt und Manuel Scherer-Windisch, Innsbruck

Kurzfassung

Das an der Universität Innsbruck eingerichtete Forschungszentrum „History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas – Impact on Environment and Human Societies“ (FZ HiMAT) beschäftigt sich seit 2007 mit der Erforschung der Bergbaugeschichte in den Ostalpen von der Urgeschichte bis in die Neuzeit. Die hier vorgestellte Arbeit hat die Lokalisierung, Identifikation und Interpretation von prähistorischen Bergbauspuren in den Regionen Schwaz/Brixlegg, Kitzbühel und angrenzenden Gebieten zum Ziel.

Die zur Anwendung kommende Methode zielt auf eine Integration bestehender archäologischer und geologischer Quellen ab, die mit Hilfe der Analyse hochauflösender Geländemodelle zur Auffindung unbekannter oder vergessener prähistorischer Bergbauspuren in der Landschaft führen soll. Informationen über archäologische Prospektionen und Ausgrabungen mit Bergbaurelevanz, wurden aus der archäologischen Literatur, sowie von Prospektions- und Ausgrabungsberichten der verschiedenen Projekte des erwähnten Forschungszentrums erfasst. Geologische Prospektionen bilden eine weitere grundlegende Quelle für Informationen zu Strukturen, die durch Bergbau entstanden sind. Der Geologe Herwig Pirkl hat die Bergbaulandschaft Schwaz/Brixlegg mit ihren markanten Oberflächenstrukturen in den Jahren 1955 bis 1958 in einer erstaunlichen Genauigkeit aufgenommen und 1961 in einem umfangreichen Werk mit drei geologischen Karten im Maßstab 1:10.000 publiziert. Durch die Anwendung einer Ontologie aus dem Kulturgutbereich können diese Datenbestände gemeinsam mit Forschungsergebnissen aus der Geschichte und Sprachwissenschaft sowie aus der Botanik, Dendrochronologie und Lagerstättenkunde konzeptionell verknüpft und in einer Netzwerkstruktur gemeinsam abgebildet werden.

Aus diesem Netzwerk werden relevante Informationen über Geoinformationssysteme in ihrem geomorphologischen Kontext visualisiert und analysiert. Zuerst wird eine visuelle Aufbereitung der Geländemodelle durchgeführt um eine Erkennung von Bergbauspuren in der Landschaft zu ermöglichen. Dann werden die aus der Netzwerkstruktur extrahierten Daten darübergelegt um die Zusammenhänge zwischen interdisziplinär bereits bestehenden Informationen und der Geländemorphologie zu vergleichen. Eine 2017 begonnene Dissertation am Arbeitsbereich Vermessung und Geoinformation wird gemeinsam mit dem Innsbrucker Institut für Archäologien diesen Ansatz heranziehen, um geomorphologische Strukturen und Distanzindikatoren zur (teil-)automatischen Analyse von Geländemodellen mit semantisch integrierten Daten zu entwickeln. Die in diesen Auswertungen identifizierten Geländestrukturen werden dann über archäologische Prospektionen in der Natur auf ihre Relevanz für die prähistorische Bergbauforschung überprüft. Damit wird eine Validierung der Methode durchgeführt und es werden neue potentielle Grabungsplätze für das Forschungszentrum HiMAT identifiziert. Die Validierung im Feld soll auch eine iterative Verbesserung der geomorphologischen und der Distanzindikatoren ermöglichen.

Der vorgestellte Ansatz kombiniert innovative Informationsintegrationsmethoden mit aktuellen geodätischen Datenbeständen um einen Beitrag zur Beantwortung entscheidender kulturgeschichtlicher Fragestellungen zu liefern.

Schlüsselwörter: Montanarchäologie, digitale Geländemodelle, Semantische Technologien

Abstract

The research center „History of Mining Activities in the Tyrol and Adjacent Areas – Impact on Environment and Human Societies“ (FZ HiMAT) of the University of Innsbruck investigates mining history of the Eastern Alps from prehistory to modern times since 2007. The work presented targets the localisation, identification and interpretation of prehistoric traces of mining activities in the region Schwaz/Brixlegg, Kitzbühel and adjacent areas.

The methodology aims at integrating existing archaeological and geological sources which are used with high resolution digital elevation models to encounter unknown or forgotten traces of prehistoric mining activities. Information on archaeological field surveys and excavations related to mining have been extracted from archaeological literature as well as from documentation of the research center HiMAT. Geological field survey is another fundamental source of information on structures created through mining.

Through the application of a cultural heritage ontology the aforementioned data can be linked with research results from History, Linguistics, Botany and Dendrochronology and represented together in a network graph structure. From this graph relevant information is displayed with Geoinformation systems in its geomorphological context through specific visualisation methods of high resolution digital elevation models. A dissertation at the Surveying and Geoinformation Unit together with the Institute of Archaeologies of the University of Innsbruck started in 2017 to use this methodology for the definition of prototypical geomorphological structures that together with distance indicators allow a (semi)automated analysis of digital elevation models for finding potential (pre)historic mining sites. The validation in the field is part of the dissertation. With the presented methodology we hope to provide a contribution to answer relevant cultural history research questions.

Keywords: mining archaeology, digital elevation models, semantic technologies

1. Das interdisziplinäre Forschungszentrum HiMAT an der Universität Innsbruck (History of Mining Activities in the Tyrol ...)

Während der Bronzezeit und frühen Eisenzeit spielte die Kupferproduktion in den Ost- und Zentralalpen eine tragende Rolle für die Metallversorgung Mitteleuropas. In dieser Epoche veränderte sich die alpine Wirtschaftsweise: Bergbau und Metallurgie verwandelten Teile der ursprünglich agrarisch geprägten Landschaft zu Montanregionen mit „frühindustriellen“ Strukturen.

Die Universität Innsbruck betreibt seit 2007 das Forschungszentrum HiMAT (History of Mining Activities in Tyrol and adjacent areas – impact on environment and human societies), das sich die Untersuchung der Bergbaugeschichte in den Ostalpen von der Urgeschichte bis in die Neuzeit zum Ziel gesetzt hat (www.uibk.ac.at/himat). Es wurde in seiner Forschung vom österreichischen Wissenschaftsfonds und anderen Förderinstitutionen in mehreren Projekten gefördert.

In dem Forschungszentrum arbeiten Disziplinen aus den Naturwissenschaften (Vermessung, Botanik, Zoologie, Geographie, Mineralogie, Geologie) und Geisteswissenschaften (Archäologie, Geschichte, Sprachwissenschaft, Ethnologie) an den verschiedensten Forschungsfragen [1].

Um die Bergbaugeschichte zu rekonstruieren greift die Archäologie auf die Ergebnisse ihrer eigenen Forschungen zurück und auf die Ergebnisse benachbarter Disziplinen, wie beispielsweise Informationen über prähistorische Klimaänderungen oder Herkunftsanalysen von Metallen. Eine wichtige Informationsquelle bilden an der Erdoberfläche erkennbare Strukturen, die auf obertägige und untertägige Bergbauaktivitäten zurückzuführen sind. Diese Spuren können mit Hilfe von digitalen Oberflächengeländemodellen

sichtbar gemacht und analysiert werden. Die Lokalisierung, Identifikation und vor allem Interpretation von Bergbauspuren ist eine interdisziplinäre Forschungsaufgabe die an unterschiedlichen Instituten des Forschungszentrums bearbeitet wird.

2. Räumliche Daten für archäologische Prospektionen

2.1 Geobasisdaten & digitale Geländemodelle Digitale Höhenmodelle aus Airborne Laserscans

Eine Grundlage für die archäologische Forschung sind digitale räumliche Daten. Für die Orientierung im Gelände ist die Österreichische Karte 1:50.000 maßgebend. Für die Durchführung archäologischer Maßnahmen wird der digitale Kataster benötigt um die notwendigen Genehmigungen der Eigentümer und des Bundesdenkmalamtes beantragen zu können. Beide Datensätze werden in digitaler Form vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zur Verfügung gestellt. Für die detaillierte Orientierung im Gelände und die Auffindung archäologisch relevanter Überreste prähistorischer menschlicher Aktivitäten sind Orthofotos und hochauflösende digitale Geländemodelle (meist mit 1m Bodenauflösung) von besonderer Bedeutung. Die einzelnen Bundesländer haben im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte (Stand 2018) durch eigene Befliegungskampagnen umfangreiche Datenbestände aufgebaut. Abbildung 1 zeigt das Gebiet um den Maukenbach im Gemeindegebiet von Radfeld und Brixlegg im Unterinntal. Hier wurde in der Späten Bronzezeit und Frühen Eisenzeit Kupfererze abgebaut, aufbereitet und an einem Schmelzplatz verhüttet.

Hochauflösende digitale Geländemodelle eröffnen für spezifische archäologische Fragestellungen besondere Möglichkeiten. Mit Hilfe von

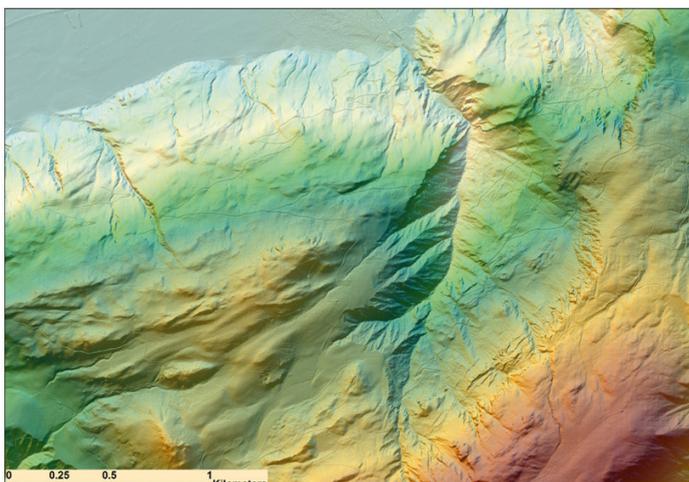
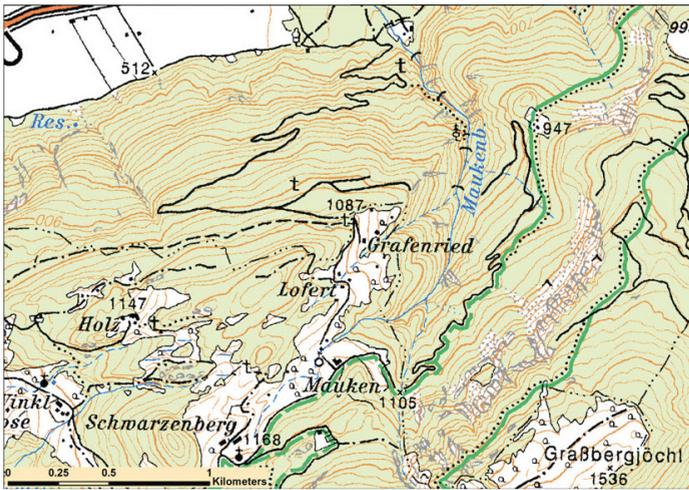


Abb. 1: Geobasisdaten für ein prähistorisches Bergbaugesamt im Tiroler Unterland (Datenquelle: BEV: ÖK50, Land Tirol: Orthofoto und digitales Geländemodell 2009)

Geographischen Informationssystemen (GIS) können nach der Besonnung im Jahreslauf, der Sichtbarkeit zwischen Geländepunkten, der Begehbarkeit oder Befahrbarkeit von Geländeabschnitten, nach „kürzesten“ oder „günstigsten“ Wegverbindungen zwischen zwei Punkten und auch nach dem Vorhandensein von Wasser(läufen) zur Versorgung möglicher Siedlungen, landwirtschaftlicher Nutzflächen oder auch technischer Anlagen beantwortet werden. Für besonders interessante Forschungsgebiete wurden höher auflösende Geländemodelle durch eigene Befliegungen erzeugt. Abbildung 2 zeigt den Pingenzug am Mitterberg in Salzburg, der mit höheren Punktdichten (8 Punkte/m²) aufgenommen wurde. Die Bergbaugesellschaften am Mitterberg gehörten zu den bedeutendsten Kupferproduzenten während der Bronzezeit und versorgten den Voralpenraum sowie große Teile Mitteleuropas mit dem wichtigsten Metall dieser Zeit.

2.2 Fachspezifische Daten

Geologische Prospektionen bilden eine der grundlegenden Quellen für Informationen zu Strukturen, die durch Bergbau entstanden sind. Herwig Pirkel [3] hat die Bergbaulandschaft Schwaz/Brixlegg in einer erstaunlichen Genauigkeit und mit einem derart hohen Detailreichtum aufgenommen, wie es nach ihm nicht mehr erreicht wurde. Das Ergebnis war eine Beschreibung der geologischen Merkmale und Oberflächenstrukturen in einem Werk mit drei geologischen Karten im Maßstab 1:10000. Zwei dieser Karten konnten mittlerweile digitalisiert werden.

Abbildung 3 zeigt die georeferenzierten Scans der beiden Karten und die daraus digitalisierten bergbaurelevanten Oberflächenstrukturen (Tagebau) und Mundlöcher von Stollen und Schächten.

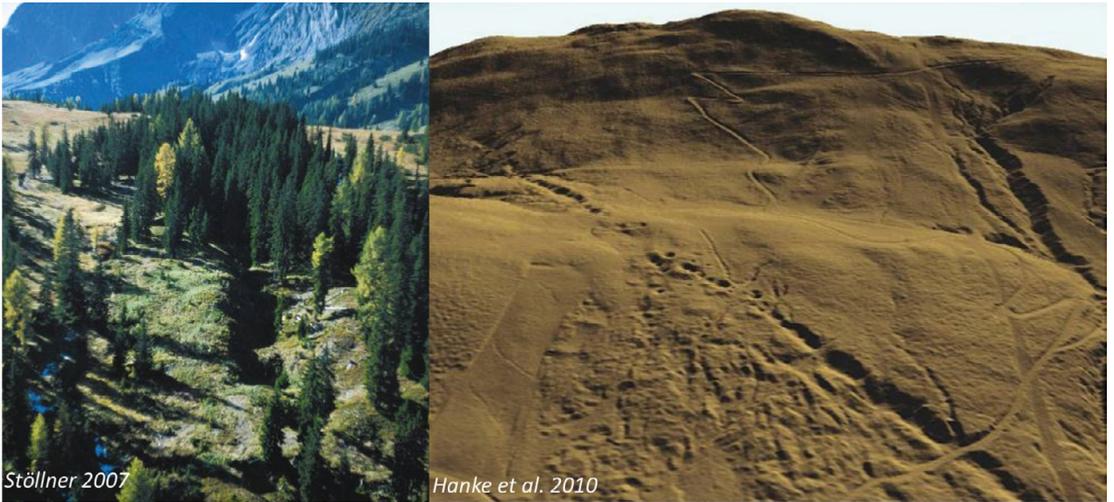


Abb. 2: Digitales Geländemodell (LIDAR) von Bergbauspuren am Mitterberg [2]

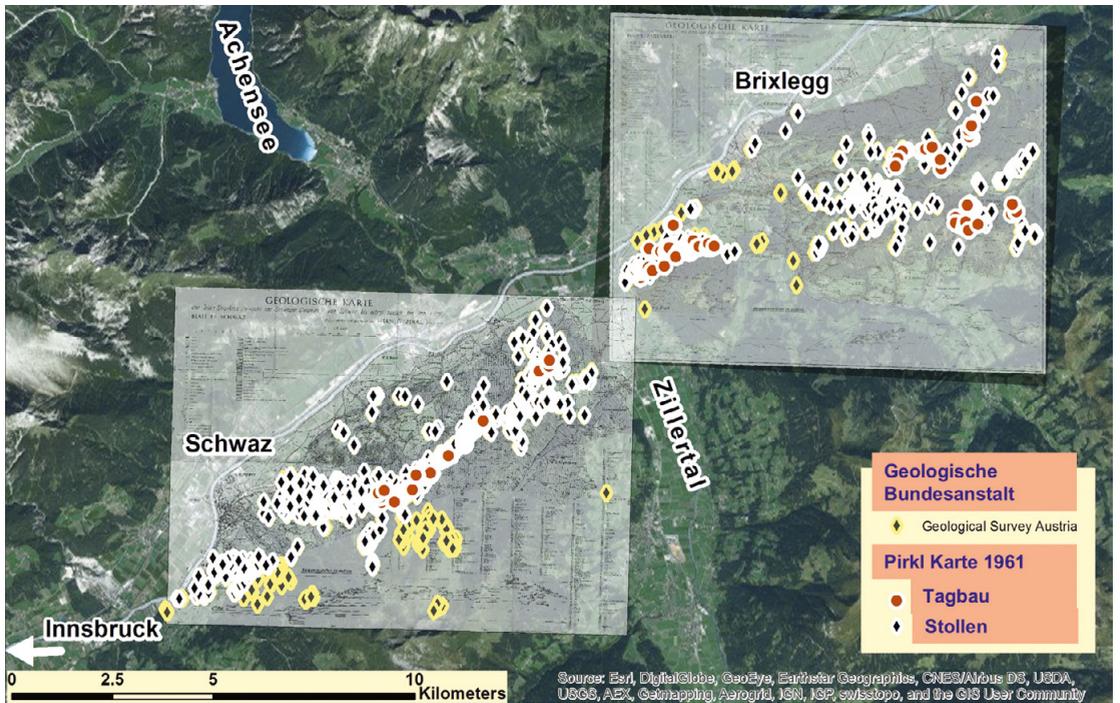


Abb. 3: Geologische Kartierungen mit Aufnahme von Bergbauspuren von Herwig Pirkl [3] (Datenquelle: Geologische Bundesanstalt [4])

Gruben (Stollen) und Tagebaue wurden mit ihren Namen und Koordinaten aufgenommen um sie sowohl für archäologische als auch historische und sprachwissenschaftliche Fragestellungen weiter verwendbar zu machen. Die geologische Bundesanstalt (GBA, Geological Survey Austria) führt einen Bergbau- und Haldenkataster [5], der

teilweise auf den Aufnahmen von Pirkl beruht, aber auch andere Quellen beinhaltet. Hier finden sich auch Informationen über die vorkommenden Erze und Lagerstätten.

Für die Identifikation von historisch und archäologisch relevanten Bergbauspuren ist die Lokalisation und Erfassung von archäologischen

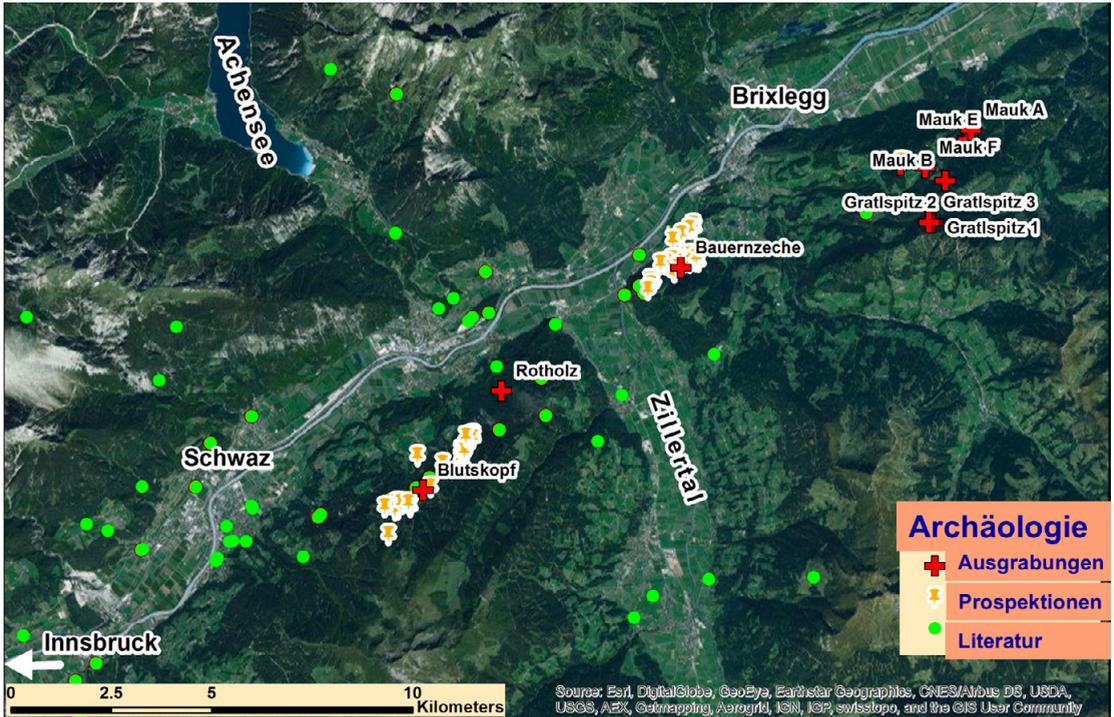


Abb. 4: Prospektionen und Ausgrabungen des Forschungszentrums HiMAT und bergbaurelevante Informationen aus montanarchäologischer Literatur (Datenquelle: ESRI, Forschungszentrum HiMAT [6])

Prospektionen und Ausgrabungen entscheidend. In Abbildung 4 wurden Prospektions- und Ausgrabungsplätze des Forschungszentrums HiMAT gemeinsam mit den in montanarchäologischer Literatur vorkommenden Fundstellen verortet um sie gemeinsam mit geologischen und anderen Datenbeständen räumlich analysieren zu können [6].

2.3 Räumliche Datenintegration und Analyse von Geländemodellen

Durch die Georeferenzierung der geologischen, lagerstättenkundlichen und archäologischen Datenbestände wird es möglich diese gemeinsam mit hochauflösenden digitalen Geländemodellen zu analysieren. Dies erlaubt es einerseits eine genauere Verortung bekannter Strukturen durchführen zu können und andererseits, was noch wesentlich interessanter ist, Strukturen zu identifizieren, die bis jetzt noch nicht bekannt sind und sie auf ihre archäologische Relevanz zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde das hochauflösende digitale Geländemodell des Landes Tirol auf konkave und konvexe Geländestrukturen hin untersucht, die sich in der Nähe der von Pirkl identifizierten und benannten Bergbaue oder in der Nähe der Einträge des Bergbau- und Haldenkatasters der

Geologischen Bundesanstalt befinden. In Abbildung 5 sind konvexe Geländeformen, die als Halden interpretiert werden können, pink umrahmt, während die zugehörigen Abbaue (Stollen und Tagbaue) rot umrahmt sind. Sie bilden sich als konkave Geländeformen im Höhenmodell ab und sind schwerer zu erkennen, da bei Stolleneingängen nur ein sehr kleiner Bereich obertäglich zu einer Geländestrukturveränderung führt. Die Kombination von konkaven und konvexen Strukturen ist meist aber recht prägnant. In der Abbildung wurden auch noch die Beobachtungen der archäologischen Prospektionen eingetragen (Pingen, Stollen, Tagbaue, feuergesetzte Abbaue, Halden) um eine Interpretation der Geländestrukturen zu verbessern.

3. Interdisziplinäre Forschung

Interdisziplinäre Forschung eröffnet die Möglichkeit Sachverhalte aus verschiedenen Perspektiven wahrzunehmen und vor allem eine Vielzahl von Methoden auf eine Forschungsfrage anzuwenden, die in einer Disziplin allein nicht zur Verfügung stehen. Die Methodenvielfalt stellt besondere Herausforderungen an die Datenmodellierung. Die grundlegende Frage ist, wie die in den einzelnen Disziplinen durchgeführten Forschungen miteinan-

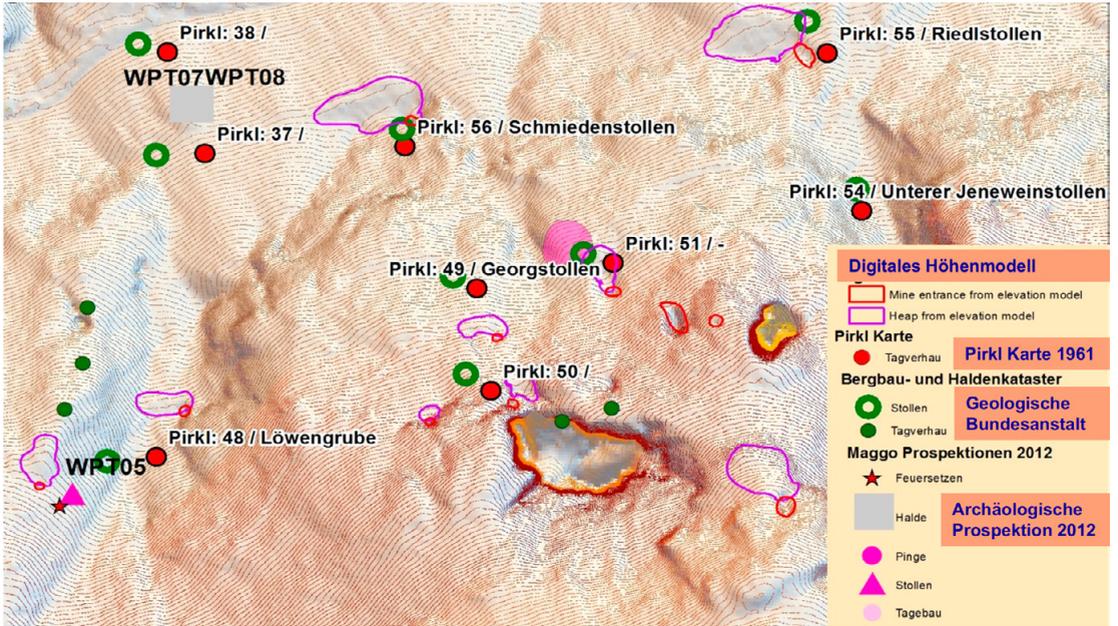


Abb. 5: Analyse von Geländemodellen mit Hilfe der Stollen von Pirk, des Bergbau- und Haldenkatasters der Geologischen Bundesanstalt und archäologischer Prospektionsergebnisse (Datenquelle: Land Tirol 2009, Geologische Bundesanstalt 2014)



Abb. 6: Die im FZ HiMAT durchgeführten Untersuchungen in den verschiedenen Disziplinen [7] (Datenquelle: BEV 2007)

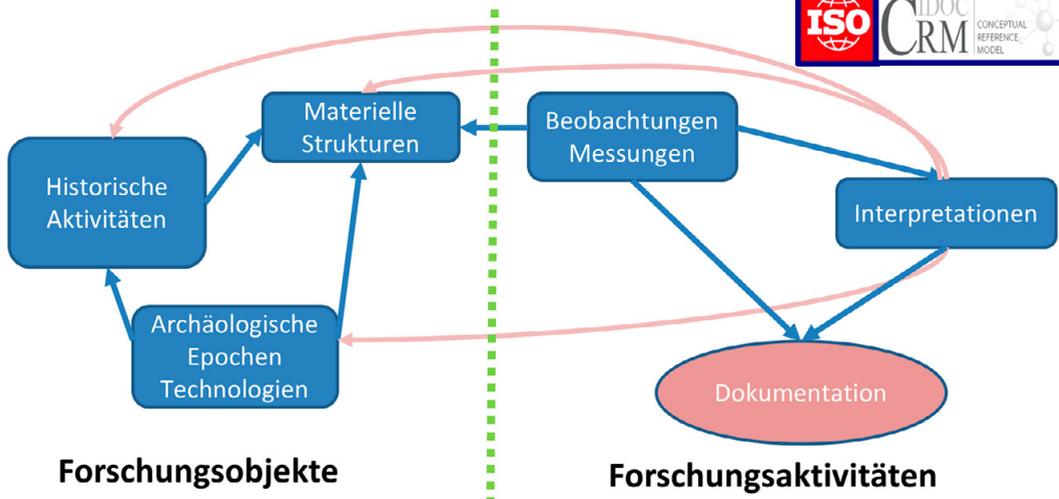


Abb. 7: Das Datenmodell basierend auf CIDOC CRM mit speziellen Erweiterungen

Beispiel – Grube Mauk E

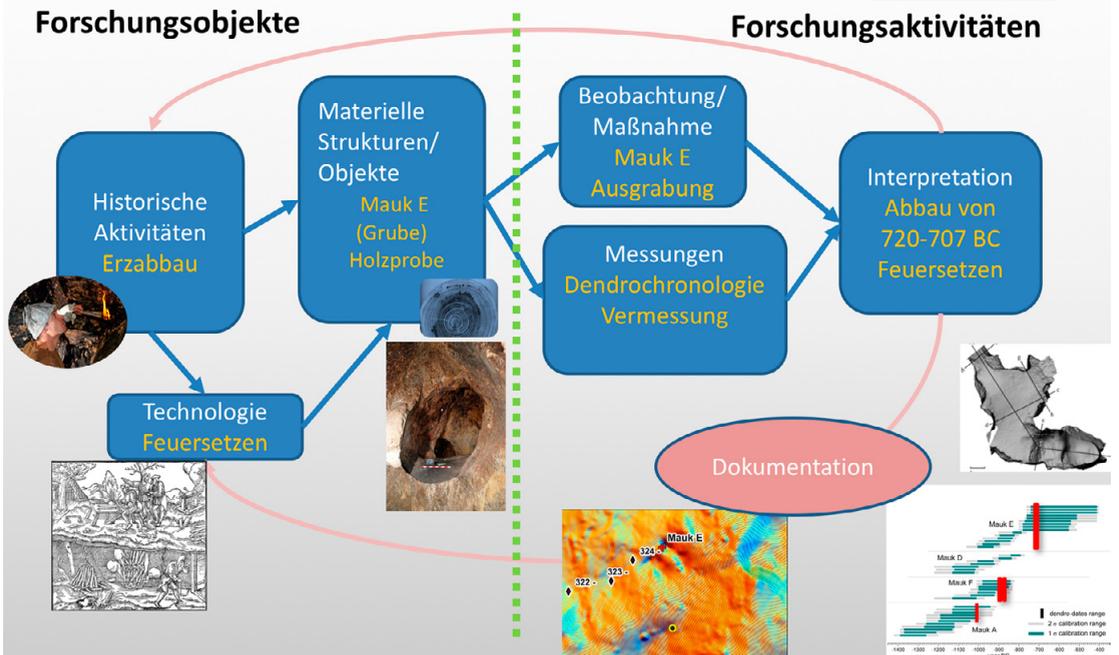


Abb. 8: Der Thesaurus für die Hauptkategorien des Datenmodelles

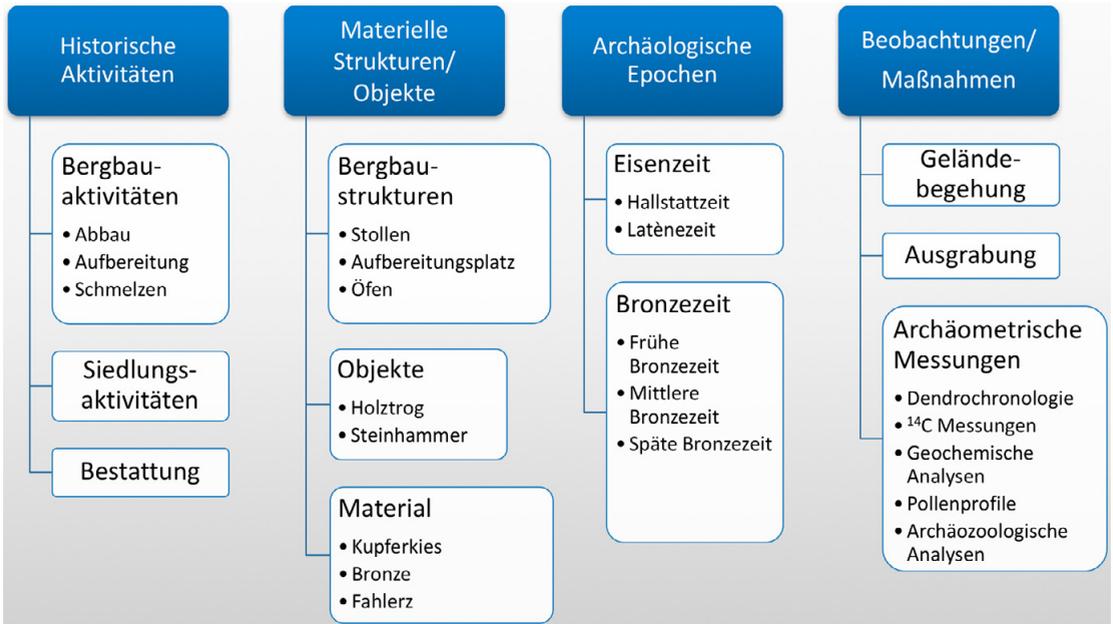


Abb. 9: Anwendung der Ontologie und des Thesaurus zur Repräsentation einer feuergesetzten Grube und der damit verbundenen Forschungshandlungen und Dokumentation.

der verbunden beziehungsweise zusammengeführt werden können. Ein Ansatz geht über den Ort der durchgeführten Forschungen, so wie in Abbildung 6 dargestellt. Hier wurden die im Forschungszentrum HiMAT in den Jahren 2007-2011 durchgeführten Forschungsaktivitäten nach der Anzahl der Untersuchungen in den verschiedenen Disziplinen visualisiert [7].

Die räumliche Integration der Daten schafft bereits einen hohen Informationsgewinn. Für eine detaillierte Analyse der Daten und vor allem eine maschinelle Auswertung ist es jedoch notwendig, die Daten auch semantisch zu integrieren.

3.1 Semantische Informationsintegration

Für semantische Informationsintegration werden ontologische Datenmodelle angewendet. In der Ontologie werden die in den Datenbeständen beschriebenen Objekte in Kategorien (Klassen) eingeteilt, die durch spezifische Eigenschaften miteinander verbunden sind. Die konzeptionelle Integration der für unsere Forschungen relevanten Klassen wird durch die Anwendung der CIDOC CRM Ontologie mit einigen Erweiterungen erreicht [8]. Das hier verwendete Datenmodell aus dem Kulturgutbereich bildet die Daten in einer Netzwerkstruktur ab, wie in Abbildung 7 dargestellt.

Ein Thesaurus, welcher die Kategorien der Ontologie noch spezialisiert, wird zur Repräsentation von Detailwissen angewendet (Abbildung 8). Die Integration von unterschiedlichen Vokabularen, auf die sich die Datenquellen beziehen und die teilweise fachspezifisch sind, ist eine herausfordernde Aufgabe. Sie benötigt eine methodologische Grundlage, wie sie im DARIAH Backbone Thesaurus [9] dargestellt wird. Die formale Repräsentation des Thesaurus erfolgt in SKOS, einem Standard des Semantic Web [10].

Abbildung 9 zeigt, wie Ontologie und Thesaurus zur Repräsentation einer feuergesetzten Grube und der damit verbundenen Forschungshandlungen und Dokumentation angewendet werden. Der Abbau mittels Feuer setzen erzeugte in der Späten Bronzezeit die physische Struktur der Grube „Mauk E“. Diese Grube wurde archäologisch ausgegraben und dendrochronologische Messungen an Holzüberresten wurden durchgeführt um eine zeitliche Einordnung des bronzezeitlichen Abbaus vorzunehmen. Darüber hinaus wurde eine 3D Dokumentation der Grube und des umgebenden Geländes mittels Laserscanning durchgeführt [11]. Die Interpretation der Beobachtungen und Messungen ergibt, dass die Erzgewinnung zwischen 720 und 707 v.Chr. stattgefunden hat und dass die Feuer setztechnologie zum Vortrieb und

1. Erzeugung strukturierter Daten

Archäol. Fundplatz	Materielle Strukturen	Beobachtungen Messungen	Historische Aktivitäten	Archäologische Epochen	Koordinaten	Quelle
1 Mooschrofen	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.93024044	47.43064121 Himat_Excavations
2 Mauk B	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.94524085	47.42724342 Himat_Excavations
3 Mauk D	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175383@... 14C	175485@..... Spätbronzezeit	11.95249312	47.43586708 Himat_Excavations
4 Mauk E	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175770@..... Feuersetzen	175488@..... Hallstattzeit	11.95250513	47.43646124 Himat_Excavations
5 Mauk A	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175786@..... Schmelzen	175485@..... Spätbronzezeit	11.95336145	47.4386932 Himat_Excavations
6 Mauk F	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 238151@..... Aufbereitung	175485@..... Spätbronzezeit	11.93850605	47.43005302 Himat_Excavations
7 Rotholz	238107@.. Bergbau Merkmal	175410@Ausgrabungen	175 175786@..... Schmelzen	175485@..... Spätbronzezeit	11.80000178	47.37831232 Himat_Excavations

2 Erzeugen eines Netzwerkes (RDF)

3. Daten in Netzwerk DB

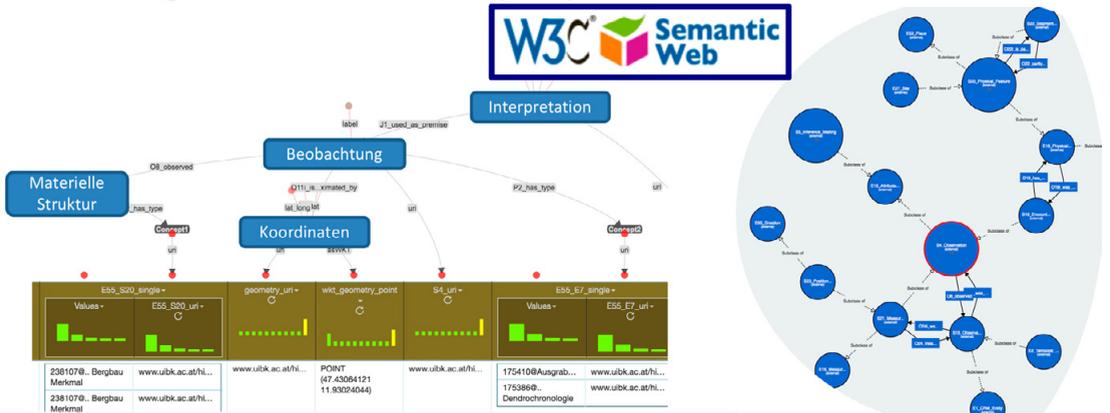


Abb. 10: Implementierung der Netzwerkstruktur mit semantischen Technologien

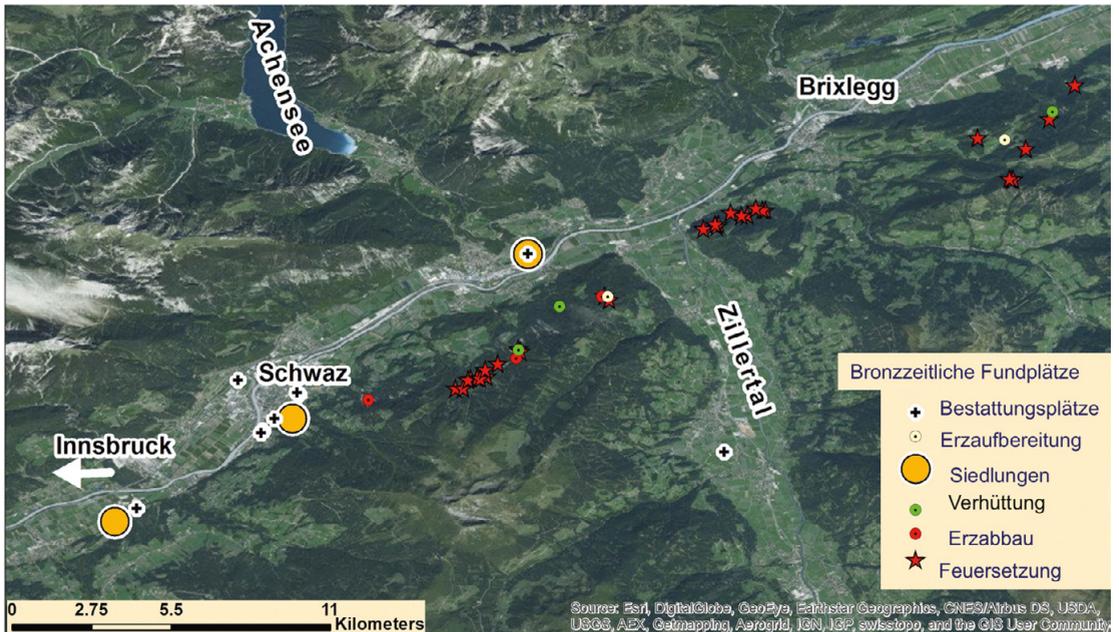


Abb. 11: Bronzezeitliche Aktivitäten in den Bereichen Bergbau, Siedlung und Bestattung (ESRI, Forschungszentrum HiMAT [6])

zur Erzgewinnung genutzt wurde. Über Ontologie und Thesaurus können die Beobachtungen, Messungen und Interpretationen zu archäologischen Daten mit den aus den Messungen erhaltenen geometrischen Informationen verbunden werden [12].

3.2. Implementierung

Zur Implementierung dieser Wissensrepräsentation in einer Netzwerkstruktur wurden Technologien des Semantic Web angewendet und ein Graph in RDF (Resource Description Framework) erzeugt [13]. RDF ist eine Datenstruktur mit der logische Aussagen zu einem Netzwerk miteinander verknüpft werden können und bildet die Grundlage für die Linked Open Data (LOD) Cloud, in der Daten auf einer globalen Ebene miteinander verbunden sind (www.linkedopendata.org). Abbildung 10 zeigt, wie über die Anwendung des Semantic Web Tools KARMA [14] aus einer tabellarischen Quelle die Netzwerkstruktur in RDF erzeugt wird. In der aktuellen Implementierung sind sieben Datenquellen aus den Bereichen Geologie, Vermessung und Archäologie integriert, sowie die in der Datenbank des Forschungszentrums HiMAT vorhandenen Metadatenbestände. Als weiterer Schritt soll über semantische Kriterien und Stringmatching versucht werden Beziehungen zu Linked Open Data Quellen wie Wikipedia und Geonames herzustellen und so die vorhandenen Datenbestände in die Linked Open Data Cloud zu integrieren.

3.3 Auswertung der integrierten Daten

Das RDF Netzwerk kann je nach Anwendungsfall auf bestimmte Informationen abgefragt werden. Für die Archäologie wurden aus den bestehenden Daten jene Informationen extrahiert, bei denen der Nachweis von bronzezeitlichen Aktivitäten in den Bereichen Bergbau, Siedlung und Bestattung vorliegt. Diese Informationen wurden in einer Karte dargestellt (Abbildung 11), die künftig in der Archäologie dazu verwendet werden kann, die Lokalisierung von Gebieten mit Informationen über Siedlungen im Einzugsbereich von Bergbaubereichen zu ermöglichen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das an der Universität Innsbruck eingerichtete Forschungszentrum HiMAT beschäftigt sich auf interdisziplinärer Ebene mit der Erforschung der Bergbaugeschichte Tirols. Ein daraus hervorgehender Ansatz ist die Lokalisierung von (prä)historischen Bergbauspuren mit Hilfe von Geobasisdaten, räumlich verorteten fachspezifischen

Daten und der Analyse von hochauflösenden Geländemodellen. Für die semantische Integration von interdisziplinären Datenbeständen wird die CIDOC CRM Ontologie mit Technologien des Semantic Web verwendet. In einer Dissertation und dem zur Förderung eingereichten FWF Einzelprojekt-Antrag „Informationsintegration für prähistorische Bergbauarchäologie“ (2018 eingereicht) wird der innovative Versuch unternommen diesen Ansatz mit montanarchäologischer Feldforschung zu verbinden und zu evaluieren. Fernerkundungsdaten und Technologien des Semantic Web werden in der dargestellten Weise kombiniert mit dem Ziel eine Methodik zu entwickeln, die die Auffindung von (prä)historischen Bergbauspuren nachhaltig verbessert. Das Forschungsprojekt hat im Einzelnen folgende Ziele:

1. Eine Methode zur Integration von semantischen und räumlichen Daten
2. Neue Erkenntnisse über die räumliche Struktur bronzezeitlicher Bergbaulandschaften
3. Das Lokalisieren von Forschungslücken und archäologischen Verdachtsflächen in Form von Kupfererz-Abbauen und Produktionsstätten (Aufbereitungs- und Schmelzplätze)
4. Die Entwicklung von Software Werkzeugen, die es erlauben, diese Vorgehensweise auch auf andere Bereiche archäologischer (und verwandter) Forschungsdisziplinen anzuwenden.

Die Methodik organisiert bestehende Forschungsdaten aus unterschiedlichen Quellen nach ontologischen Prinzipien. Das bedeutet, dass Informationen über Fundobjekte oder Fundstellen mit den an ihnen durchgeführten Untersuchungen und den damit verbundenen Interpretationen in einem Netzwerk abgebildet werden. Dieses Netzwerk ermöglicht die semantischen Beziehungen zueinander und die Lokalisierung der Fundobjekte und Fundstellen darzustellen. Durch die Verwendung von Digitalen Geländemodellen können diese Daten mit Hilfe von Geoinformationssystemen in ihrem geographischen Kontext untersucht werden um Indikatoren zu finden, die es erlauben bisher unbekannte oder auch bereits vergessene Bereiche bronzezeitlicher Kupferproduktion zu lokalisieren. Die Zuverlässigkeit dieser Methode wird im Gelände durch archäologische und geophysikalische Prospektionen (z.B. Geomagnetik) überprüft. Als Untersuchungsgebiete wurden hierzu Kupfererz-Lagerstätten im näheren Umfeld der prähistorischen Abbaue der Kelchalm (Aurach bei Kitzbühel), im Bereich des Brixentals und im Salz-

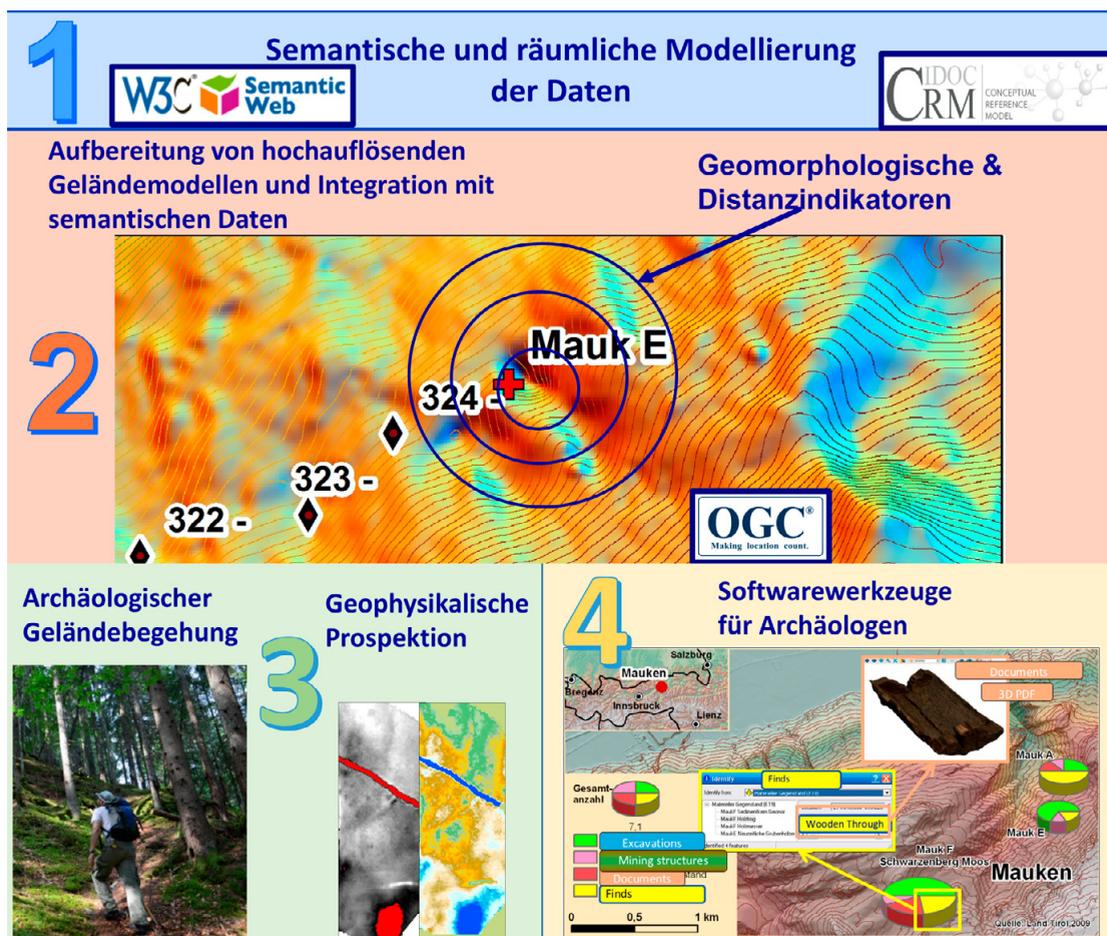


Abb. 12: Struktur der Dissertation und des FWF Einzelprojektantrag „Informationsintegration für prähistorische Bergbauarchäologie“

burger Pinzgau ausgewählt. Lokalisierte Fundstellen werden im Rahmen des FZ HiMAT untersucht. Die Ergebnisse aber auch die Anwendungen werden der Forschungsgemeinschaft im Anschluss offen zur Verfügung gestellt. Abbildung 12 zeigt die Ziele und Struktur des geplanten Forschungsprojektes.

Danksagung

Wir danken dem Österreichischen Wissenschaftsfond für die Förderungen im Rahmen der Projekte “Prehistoric copper production in the eastern and central Alps – technical, social and economic dynamics in space and time” (FWF I-1670-G19, 2015-2018) und „Open Research Data for Prehistoric Mining Archaeology“ (ORD 74-VO) und den Geoinformationsabteilungen der Länder Tirol, Salzburg und Vorarlberg für die zur Verfügung Stellung von hochauflösenden Geländemodellen und Orthofotos.

Referenzen

- [1] Schibler, J., Breitenlechner, E., Deschler-Erb, S., Goldenberg, G., Hanke, K., Hiebel, G., Hüster-Plogmann, H., Nicolussi, K., Marti-Grädel, E., Pichler, S., Schmidl, A., Schwarz, S., Stopp B. and Oeggel, K. (2011): Miners and mining in the Late Bronze Age: a multidisciplinary study from Austria. *ANTIQUITY* 85 /2011, pp. 1259–1278.
- [2] Hanke, Klaus; Grussenmeyer, Pierre (2010): Cultural Heritage Applications. In: Vosselmann, George: Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Dunbeath, Caithness Scotland: Whittles Publishing, ISBN 978-1904445876, S. 271–290.
- [3] Pirkl, H., 1961. *Geologie des Trias-Streifens und des Schwazer Dolomits südlich des Inn zwischen Schwaz und Wörgl (Tirol)*, *Jahrbuch Geol. B. A.* (1961), Bd. 104. 1. Heft, (Wien 1961)
- [4] GBA, 2014. *Digitale Datensätze des Bergbau/Haldenkatasters betreffend ausgewählter Bergbaugebiete im Raum Schwaz-Brixlegg und Kitzbühel-Jochberg*, *Fachabteilung Rohstoffgeologie der Geologischen Bundesanstalt*

- [5] *Geologische Bundesanstalt 2018*. <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/rohstoffe/bergbaue/>
- [6] Hiebel, G., Hanke, K., Goldenberg, G., Staudt, M. and Grutsch, C. (2017): Information Integration in a Mining Landscape. *Studies in Digital Heritage*, 1(2), pp. 692-699. DOI: 10.14434/sdh.v1i2.23231 (7.5.2018).
- [7] Hiebel, Gerald, Hanke, Klaus; Ingrid Hayek (2011): Geoinformationssystem mit ontologischer Datenbasis zur Darstellung multidisziplinärer Forschungsaktivitäten. In: Chesi, Günter; Weinold, Thomas: 16. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2011. Heidelberg: Wichmann, ISBN 978-3-87907-505-8, S. 213 - 216.
- [8] Le Boeuf, P. Doerr, M. Ore, Ch.E. Stead. S. 2016. *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model*, http://www.cidoc-crm.org/official_release_cidoc.html (6.4.2018).
- [9] Dariah EU, 2016. *DARIAH Backbone Thesaurus (BBT) – Definition of a model for sustainable interoperable thesauri maintenance, Produced by the Thesaurus Maintenance Working Group, VCC3, DARIAH EU*, http://83.212.168.219/DariahCrete/sites/default/files/dariah_bbt_v_1.2_drafft_v4.pdf (4.9.2018)
- [10] w3c 2009. *SKOS Simple Knowledge Organization System Reference*. <https://www.w3.org/TR/2009/REC-skos-reference-20090818/> (19.6.2018)
- [11] Hanke, K., Hiebel, G., Kovács, K. and Moser, M. 2009. *Surveying And Geoinformation – Contributions to an Interdisciplinary Special Research Program on The History of Mining Activities*. In: The CIPA International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXII, pp. 144-150. <http://www.isprs.org/proceedings/XXVIII/part5/papers/122.pdf> (30.4.2018)
- [12] Hiebel, G., Doerr, M., Hanke K. and Masur, A. (2014): How to put archaeological geometric data into context? Representing mining history research with CIDOC CRM and extensions. In: Ioannides, M., (ed.): *International Journal of Heritage in the Digital Era*, Vol. 3, Issue 3, September 2014, pp. 557-577. <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/2047-4970.3.3.557> (30.4.2018).
- [13] *Resource Description Framework (RDF)* <http://www.w3.org/RDF/> (19.6.2018)
- [14] *Karma: A Data Integration Tool*, <http://www.isi.edu/integration/karma/> (3.9.2018)

Anschrift der Autoren

Dr. Gerald Hiebel, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: gerald.hiebel@uibk.ac.at

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Hanke, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: klaus.hanke@uibk.ac.at

Assoz.-Prof. Dr. Gert Goldenberg, Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, Langer Weg 11, 6020 Innsbruck.

E-Mail: gert.goldenberg@uibk.ac.at

Mag. Markus Staudt, Universität Innsbruck, Institut für Archäologien, Langer Weg 11, 6020 Innsbruck.

E-Mail: markus.staudt@uibk.ac.at

Manuel Scherer-Windisch, MA, Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Vermessung und GEOinformation, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

E-Mail: manuel.scherer-windisch@student.uibk.ac.at





Gewässervermessung mittels aktiver und passiver optischer Fernerkundung

Mapping bathymetry via active and passive remote sensing

Gottfried Mandlbürger, Stuttgart

Kurzfassung

Die präzise Erfassung von Gewässertiefen (Bathymetrie) ist von großer sozioökonomischer und ökologischer Bedeutung. Zu den Anwendungsfeldern zählen u.a. Schifffahrt, Wasserwirtschaft, Gewässerökologie, Hydrobiologie, Naturgefahrenmanagement, etc. Während die Erfassung von tiefen und trüben Gewässern (heimische Alpenseen, schiffbaren Flüsse) in der Regel mittels Echolot erfolgt, sind aktive und passive optische Fernerkundungsmethoden zur effizienten und großflächigen Vermessung von klaren seichten Gewässern wie z. B. Alpenflüssen, Uferzonen von stehenden und fließenden Gewässern und Klarwasser-Küstenbereichen geeignet. Dabei kommen folgende flugzeuggetragene Methoden zum Einsatz: (i) Tiefenbestimmung durch Analyse der Radiometrie multispektraler Bilder (ii) Mehrmedienphotogrammetrie und (iii) Laserbathymetrie. Dabei nutzen die bildbasierten passiven Ansätze die Reflexionen der Sonnenstrahlung vom Gewässerboden zur Tiefenbestimmung. Die Laserbathymetrie hingegen ist ein aktives Verfahren basierend auf der Laufzeitmessung von kurzen grüne Laserpulsen. In diesem Beitrag werden die Grundlagen dieser drei Ansätze beschrieben, die jeweiligen Vor- und Nachteile diskutiert, aktuelle Forschungsarbeiten zur integrierten Auswertung vorgestellt, und die Einsatzmöglichkeiten anhand konkreter Datensätze (Stubaier Alpen, Augsburg) aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Laserbathymetrie, Mehrmedienphotogrammetrie, Multispektrale Tiefenbestimmung, Gewässervermessung, Hydrographie

Abstract

Precise mapping of water depths (bathymetry) is of high socio-economic and ecologic importance. Among the potential fields of application are navigation, water resources management, water ecology, hydrobiology, natural hazard management, etc. While echo sounding is the prime technique for charting deep and turbid waters (alpine lakes, navigable rivers), active and passive optical remote sensing is well suited for efficient area-wide capturing of clear and shallow water bodies (alpine rivers, littoral area of standing and running waters, clear coastal water areas, etc.). The following airborne techniques are employed: (i) spectrally based depth estimation exploiting the radiometry of multi-spectral images, (ii) multimedia photogrammetry based on stereo images, and (iii) airborne laser bathymetry. Whereas the prior two are passive techniques using the reflections of solar illumination, the latter is an active method based on runtime measurement of short green laser pulses. In this contribution the principles of the aforementioned techniques as well as their advantages and shortcomings are described, current research activities concerning integrated data processing are discussed, and the fields of application for bathymetry from optical remote sensing are illustrated with real world examples.

Keywords: airborne laser bathymetry, multimedia photogrammetry, spectrally based depth estimation, water capturing, hydrography

1. Einleitung

Die regelmäßige Erfassung des quantitativen und qualitativen Zustands von Küsten- und Binnengewässern gewinnt, nicht zuletzt vor dem Hintergrund des Klimawandels, zunehmend an Bedeutung. Der quantitative Aspekt bezieht sich dabei nicht ausschließlich auf die Erfassung von Gewässertiefen allein, wie sie etwa für die Einhaltung von Mindesttiefen der Fahrrinnen in der Schifffahrt erforderlich sind, sondern generell auf die Beschreibung der Unterwassertopographie und deren Veränderung. In diesem erweiterten

Sinn ist die Bathymetrie (griechisch: βάθος (*bathus*), „tief“, und μέτρον (*metron*), „messen“) Grundlage für eine Vielzahl sozioökonomischer und ökologischer Fragestellungen. Zu ersteren zählen etwa Hochwasserrisikoabschätzung, Gefahrenzonen- und Schutzmaßnahmenplanung, und zu letzteren Renaturierung, Monitoring von Veränderungen (fluviale Morphodynamik) und deren Auswirkungen auf aquatische Habitate (Hydrobiologie, Habitatmodellierung, etc.).

Das Thema Wasser ist in der Europäischen Union (EU) durch drei Richtlinien vertreten, die

Wasserrahmenrichtlinie (EU, 2000; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), 2018a), (ii) die Hochwasserrichtlinie (EU, 2007; BMNT, 2018b) und die Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (EU, 1992; Umweltbundesamt (UBA), 2018). Alle drei schreiben eine regelmäßige Zustandserfassung, etwa im 6-Jahres-Zyklus, vor. Die wiederholte Erfassung von Flüssen und stehenden Binnengewässern ist dabei ein essenzieller Teil zur Erfüllung der oben genannten Richtlinien, was den Einsatz effizienter bathymetrischer Techniken erfordert. Dasselbe gilt auch für Küstengebiete mit Anwendungen im Bereich des Küstenschutzes (Christiansen, 2016) sowie die Überwachung benthischer Habitate (Parrish et al., 2016; Brown et al., 2011).

Für die Vermessung tiefer und trüber Gewässer ist nach wie vor die Echolot-Methode die erste Wahl, da Schall eine vergleichsweise geringe Dämpfung in der Wassersäule erfährt als Licht (Heine et al., 2016a; Heine et al., 2016b). Für die flächige Erfassung seichter Gewässer ist schiffsbasierte Sonarvermessung allerdings ineffizient, da der Abtastbereich unter dem Schwingkopf von der Wassertiefe abhängt (vgl. Abbildung 1). Außerdem ist der Einsatz auf schiffbare Bereiche eingeschränkt und der unmittelbare Uferbereich daher verfahrensbedingt nicht erfassbar. Als effiziente Alternative für relativ seichte und klare Gewässer bieten sich flugzeuggetragene, op-

tische Fernerkundungsmethoden an. Zwar ist die Absorption elektromagnetischer Strahlung im optischen Bereich (sichtbares Licht und nahes Infrarot) in der Wassersäule vergleichsweise stark und die erfassbare Gewässertiefe abhängig von der Gewässertrübung eingeschränkt (max. 50 - 60 m bei sehr klaren Küstengewässern und guter Reflektivität des Untergrunds), dafür hängt der erfassbare Bereich lediglich von der Flughöhe über Grund und nicht von der Wassertiefe ab, was eine effiziente, flächenhafte Aufnahme seichter Gewässer ermöglicht. Abbildung 1 veranschaulicht die Zusammenhänge.

Für die Bathymetrievermessung mittels optischer Fernerkundung haben sich folgende Verfahren etabliert: (i) Ableitung von Gewässertiefen basierend auf dem radiometrischen Inhalt multispektraler Bilder, (ii) Mehrmedienphotogrammetrie auf Basis von Stereo-Luftbildern und (iii) Laserbathymetrie (engl. Airborne Laser Bathymetry, ALB). Während die ersten beiden Methoden passiv sind und die vom Gewässerboden rückgestreute Sonnenstrahlung für die Tiefenmessung ausnützen, ist ALB ein aktives Verfahren, welches auf Laufzeitmessung eines gepulsten, grünen Lasers basiert. Während in der Vergangenheit die genannten Erfassungsmethoden mehrheitlich getrennt von einander zum Einsatz kamen, geht die Sensorentwicklung derzeit eindeutig in die Richtung hybrider Systeme mit Kameras und Laser-

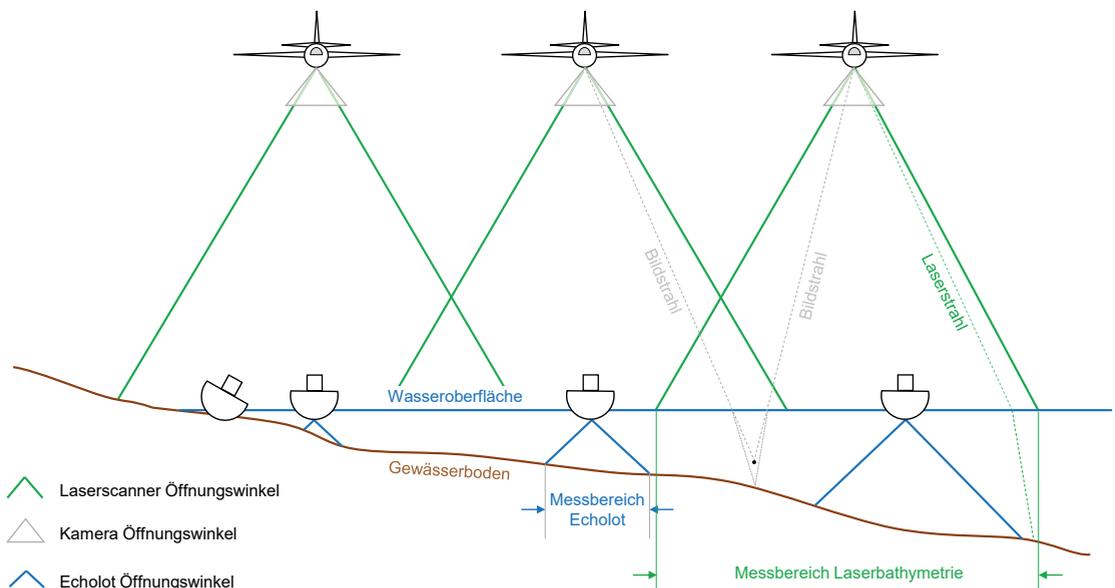


Abb. 1: Prinzipische Skizze – Erfassungsbereiche bei schiffsbasierter Hydrographie und Flugzeugfernerkundung

scannern auf derselben Plattform (Mandlbürger, 2018b). Laufende Forschungsarbeiten des Autors im Rahmen des DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) Projektes „Bathymetrieermessung durch Fusion von Flugzeuglaserscanning und multispektralen Luftbildern“ fokussieren sich daher auf die gemeinsame Auswertung von bild- und scanbasierten Tiefenmessverfahren mit dem Ziel der lückenlosen Erfassung von Flachwasserbereichen und einer verbesserten Klassifizierung des Gewässeruntergrunds (Boden, Vegetation, Hindernisse).

In diesem Beitrag werden daher zunächst in Abschnitt 2 die Grundlagen Bathymetrieerfassung mittels optischer Fernerkundung und in Abschnitt 3 die gegenwärtigen Forschungsarbeiten im Rahmen des obengenannten DFG Forschungsprojektes beschrieben. Anhand konkreter Datensätze (Blaue Lacke, Stubaiäer Alpen; Autobahnsee, Augsburg) wird in Abschnitt 4 die Effizienz und Genauigkeit der optischen Bathymetriebestimmung beispielhaft demonstriert und die Vor- und Nachteile im anschließenden Abschnitt 5 diskutiert. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse (Abschnitt 6).

2. Stand der Technik

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen der unterschiedlichen Methoden zur Bathymetrieermessung mittels optischer Fernerkundung vorgestellt.

1.1 Gewässertiefe aus der Radiometrie multispektraler Bilder

Die Grundidee der Tiefenbestimmung aus radiometrischer Bildinformation ist es, einen Zusammenhang zwischen dem radiometrischen Bildinhalt und der Gewässertiefe herzustellen (Lyzenga, 1978). Voraussetzung dafür ist das Verständnis der komplexen Interaktion der Sonnenstrahlung mit der Atmosphäre, der Wasseroberfläche, dem Wasserkörper und schließlich dem Gewässerboden als eine Funktion der Wellenlänge λ . Die Stärke der am Sensor (Kamera) ankommende Strahlung kann dabei als Summe der einzelnen Teilbeiträge angeschrieben werden (Legleiter et al., 2009).

$$L_T(\lambda) = L_b(\lambda) + L_c(\lambda) + L_s(\lambda) + L_p(\lambda) \quad (1)$$

Die am Sensor einfallende Gesamtstrahlung L_T setzt sich demnach aus der vom Gewässerboden reflektierten Strahlung L_b , der aus dem Wasser-

körper rückgestreuten Strahlung L_c , dem Signalanteil von der Reflexion an der Wasseroberfläche L_s und den Anteilen aus der Rückstreuung an Partikeln in der Atmosphäre L_p zusammen. In Abbildung 2 sind die Zusammenhänge schematisch dargestellt. Die Signalabschwächung innerhalb der Wassersäule ist exponentiell als Folge von kontinuierlicher vorwärts- und rückwärtsgerichteter Streuung sowie Signalabsorption im Medium Wasser. Der vom Boden kommende Signalanteil L_b hängt sowohl von der Wassertiefe als auch von der Bodenbeschaffenheit (Reflektivität, Rauigkeit) ab, und der aus der Wassersäule stammende Beitrag ist bestimmt durch die optischen Eigenschaften des Wassers (Trübheit). Je nach Blickrichtung, kann der Term L_s infolge spiegelnder Reflexion an der Wasseroberfläche einen großen Anteil am Gesamtsignal L_T ausmachen. Solche Glanzlichter entstehen dann, wenn es zu einem direkten Einfall des an der Wasseroberfläche gerichtet reflektierten Sonnenlichtes an einem Sensorpixel kommt. Je nach Bewegtheit der Wasseroberfläche (Wellen) treten Glanzlichtpixel entweder sporadisch oder gehäuft auf. In jedem Fall müssen die entsprechenden Bildbereiche im Rahmen der Datenvorverarbeitung maskiert und für die weitere Verarbeitung deaktiviert werden.

Für Bilder, die optisch tiefes Wasser enthalten, lässt sich ein einfacher physikalischer Zusammenhang zwischen Wassertiefe und Rückstreustärke formulieren (Lyzenga et al., 2006):

$$L(h) = L_s + L_B e^{-ah} \quad (2)$$

$L(h)$ ist dabei die am Sensor empfangene Strahlung nach der Korrektur von Atmosphäre und etwaigen Glanzlichtern. Der Term L_s beinhaltet in diesem Fall sowohl die Beiträge der Reflexion

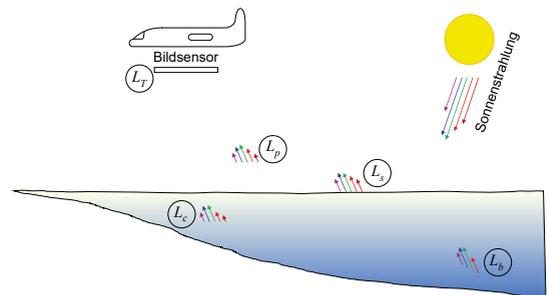


Abb. 2: Prinzipskizze – Zusammensetzung der am Bildsensor auftreffenden Strahlung aus Teilkomponenten von der Atmosphäre, der Wasseroberfläche, dem Wasserkörper und –boden

von der Wasseroberfläche als auch die Rückstreuung von einer (unendlich) tiefen Wassersäule.

L_B beschreibt in erster Linie die Reflektivität des Bodens, beinhaltet aber auch Transmissionsverluste beim Durchgang durch die Luft-Wasser-Grenzschicht und Effekte der Volumenstreuung im Wasserkörper. Der Exponentialkoeffizient α ist der effektive Dämpfungskoeffizient und besteht aus der Summe von vor- und rückwärtsgestreuten Lichtanteilen. Aus Gleichung 2 ist der bereits oben angesprochene exponentielle Signalabfall in Abhängigkeit der Wassertiefe h und der optischen Eigenschaften des Wasserkörpers (α) ersichtlich. Durch Entlogarithmieren kann damit ein linearer Zusammenhang zwischen der Wassertiefe und dem radiometrischen Bildinhalt hergestellt und durch einfache Umformung die Wassertiefe h direkt berechnet werden.

$$h = \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\frac{L_B}{L(h) - L_S} \right] \quad (3)$$

Vorausgesetzt, dass sowohl die Wasserbedingungen als auch der Untergrund homogen sind, kann somit bereits aus einem spektralen Bildkanal ohne Vorhandensein von externen Referenzdaten die Tiefe ermittelt werden. Da allerdings sowohl die Signalabsorption in der Wassersäule als auch die Bodenreflektivität von der Wellenlänge abhängen, werden in der Praxis alle verfügbaren multispektralen Bildkanäle herangezogen, um die in Gleichung 3 verbleibenden Unbekannten zu bestimmen. Dies geschieht in der Regel im Rahmen einer Optimierungsaufgabe auf Basis von Referenzdaten aus terrestrischer oder Echolot-Vermessung (Lyzenga et al., 2006).

Während die Gleichungen 2 und 3 ein physikalisch motiviertes Modell darstellen, besteht hier u.a. der Nachteil, dass dabei das Vorhandensein optisch tiefer Bereiche vorausgesetzt wird. Für einige Anwendungsszenarien, wie etwa klare und mäßig tiefe Alpenflüsse, ist dies allerdings nicht notwendigerweise der Fall. Aufbauend auf der fundamentalen Erkenntnis der exponentiellen Signaldämpfung in der Wassersäule hat u. a. Legleiter (2016) das obige Modell für die Kartierung von klaren Fließgewässern weiterentwickelt, wobei der Zusammenhang zwischen Bildradiometrie und Tiefe durch Regression basierend auf Referenzpunkten (in-situ Vermessung) oder hydraulischen Parametern (Durchfluss, Bemessungskurven, etc.) hergestellt wird. Um den Fehlereinfluss der Variabilität der Bodenreflektivität auf die Tiefen-

bestimmung zu minimieren, kommen bevorzugt Logarithmen von Bandverhältnissen zum Einsatz (Legleiter et al., 2009):

$$X = \ln \left[\frac{R_B(\lambda_1)}{R_B(\lambda_2)} \right] \quad (4)$$

R_B bezeichnet darin die Strahlung vom Gewässerboden in der jeweiligen Wellenlänge λ_i . Durch Vergleich mit den Referenzdaten wird dann die optimale Bandkombination als diejenige mit dem größten Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression ausgewählt.

Die radiometriebasierte Tiefenbestimmung kommt sowohl bei Küstengebieten (Stumpf et al., 2003; Lyzenga et al., 2006) als auch bei Binnengewässern (Legleiter et al., 2009; Legleiter, 2016) zur Anwendung. Die berichteten Genauigkeiten reichen von 25 cm (Legleiter, 2016) für Flüsse mit klarem Wasser bis zu >1 m (Lyzenga et al., 2006) für Küstengewässer.

1.2 Mehrmedienphotogrammetrie

Ein komplementäres bildbasiertes Verfahren zur Tiefenbestimmung stellt die Mehrmedienphotogrammetrie dar. Dabei handelt es sich um ein rein geometrisches Verfahren, dessen Grundlagen auf Rinner (1948) zurückgehen. Mit dem Aufkommen digitaler Bilder und automatisierter Auswerteverfahren aus dem Bereich der Computer Vision (Structure from Motion, SfM), hat auch das Thema der photogrammetrischen Tiefenbestimmung wieder eine vermehrte Aufmerksamkeit erfahren. In der modernen Literatur wird die stereobildbasierte Erfassung der Unterwassertopographie für Fließgewässer (Westerway et al, 2005; Dietrich, 2016; Wimmer, 2016) und für Küstenbereiche auf Basis von Stereo-Satellitenbildern (Hodul et al) erörtert. Maas (2015) beschreibt ein rigoroses Korrekturmodell für den Mehrmedienfall und untersucht das Genauigkeitspotenzial der Methode. Er kommt dabei zum Schluss, dass gegenüber dem konventionellen photogrammetrischen Fall mit einer Verschlechterung der Ergebnisse um einen Faktor zwei gerechnet werden muss.

Aufbauend auf dem Grundkonzept der Photogrammetrie kann Unterwassertopographie aus Stereoluftbildern abgeleitet werden, sofern die innere und äußere Orientierung der Bilder bekannt ist (Mulsow, 2016) und die Wasseroberfläche mit genügender Genauigkeit rekonstruiert werden kann. Kann ein homologer Punkt des Gewässerbodens in mindestens zwei Aufnahmen identifiziert werden, muss der scheinbare Schnitt

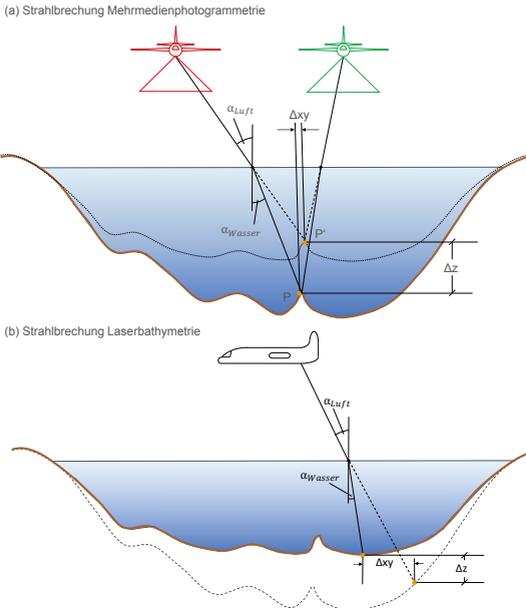


Abb. 3: Prinzipskizze – Strahlbrechung an der Wasseroberfläche für Stereophotogrammetrie und Laserbathymetrie gemäß dem Snellius’schen Brechungsgesetz

der korrespondierenden Bildstrahlen noch wegen der Brechnung an der Wasseroberfläche korrigiert werden. Die Grundlage dafür ist das Snellius’sche Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha_L}{\sin \alpha_W} = \frac{n_W}{n_L} = \frac{v_L}{v_W} \quad (5)$$

Demnach sind die Sinus der luft- und wasserseitigen Bildstrahlen (α_L und α_W) umgekehrt proportional zu den jeweiligen Brechungsindizes in Wasser ($n_W \approx 1.33$) und Luft ($n_L \approx 1.00$) und direkt proportional zu den Ausbreitungsgeschwindigkeiten ($v_L, v_W \approx 225564 \text{ km/h}$). Die in Abbildung 3a schematisch dargestellten Verhältnisse zeigen die Brechung der Bildstrahlen zum Lot hin beim Übergang vom optisch dünneren Medium Luft ins optisch dichtere Medium Wasser. Dadurch ist der scheinbare Bildpunkt P' , der sich aus dem geradlinigen Schnitt der Bildstrahlen ergibt, tendenziell zu hoch und muss durch Anbringungen der Brechung zum tatsächlichen Punkt P am Gewässergrund nach unten korrigiert werden. Detaillierte Beschreibungen der Brechnungskorrektur finden sich etwa in Kotowski (1988), Murase et al. (2008), Maas (2015) und Wimmer (2016).

Im Gegensatz zur radiometriebasierten Methode, bei welcher Inhomogenität in der Bodenbeschaffenheit (Vegetation, unterschiedliche

Substrattypen) einen negativen Einfluss auf die Genauigkeit der Messergebnisse haben, ist die Variation im Fall der Mehrmedienphotogrammetrie von Vorteil, da diese Textur erzeugt. Diese ist wiederum Grundvoraussetzung für jede Art der photogrammetrischen Oberflächenrekonstruktion. Allerdings kommt es auch bei guter Bodentextur mit zunehmender Wassertiefe durch die kontinuierliche Strahlbrechung in der Wassersäule zu Unschärfen, welche die bereits oben erwähnten Genauigkeitseinbußen hervorruft (Maas, 2015). Mittlerweile steht allerdings mit dem Semi Global Matching (SGM) ein Verfahren der dichten Bildzuordnung zur Verfügung, welches auch texturarme Bereiche qualifiziert überbrücken kann (Hirschmüller, 2008; Wenzel et al., 2013). Der Einsatz dieser Technik für den Unterwasserbereich wird derzeit für alpine Flüsse und Seen sowie für Küstenbereiche erprobt (Wimmer, 2016; Mandlbürger, 2018a). Die darin angestellten Vergleiche mit Referenzmessungen zeigen eine Abnahme der Genauigkeit und Zuverlässigkeit mit zunehmender Wassertiefe. Zurückzuführen ist dies einerseits auf das Verwischen der Textur (Blurring) und andererseits auf die derzeit noch unzureichenden Möglichkeiten einer räumlich-zeitlich hochaufgelösten Erfassung und Modellierung der dynamischen Wasseroberfläche als Grundlage für präzise Refraktionskorrektur.

1.3 Laserbathymetrie

Im Gegensatz zu den in Abschnitt 2.1 und 2.2 behandelten bildbasierten Verfahren, stellt die Laserbathymetrie (englisch: Airborne Laser Bathymetry, ALB) ein aktives Verfahren dar, bei der die Erfassung von Flachwasserbereichen mittels eines gepulsten, grünen Lasers erfolgt (Guenther et al., 2000). Die Entfernung zwischen Sensor und Ziel wird durch die Messung der Laufzeit eines sehr kurzen Laserpulses (Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$, Pulsdauer $\Delta t = 1-2 \text{ ns}$) durch Luft und Wasser bestimmt. Dabei wird der Laserstrahl an der Wasseroberfläche teilweise reflektiert und der verbleibende Teil dringt in den Wasserkörper ein. Beim Eintritt in den Wasserkörper erfährt der Laserstrahl abhängig von den optischen Eigenschaften des Wassers eine Richtungsänderung sowie eine Reduktion der Ausbreitungsgeschwindigkeit gemäß dem Snellius’schen Brechungsgesetz (Gleichung 4, $v_W \approx v_L / 1.33 \approx 225564 \text{ km/s}$). Durch die geringere Lichtgeschwindigkeit in Wasser erscheinen die unkorrigierten 3D-Unterwassermesspunkte im Gegensatz zur photogrammetrischen Methode zu tief und müssen entsprechend nach

oben korrigiert werden. Eine effiziente Implementierung der Refraktionskorrektur findet sich etwa im Hydrographiepaket der wissenschaftlichen Laserscanning Software OPALS (Pfeifer et al., 2014).

In der Wassersäule unterliegt die Laserstrahlung der Dämpfung durch kontinuierliche Strahlbrechung und Signalabsorption, sodass nach der Reflexion des Laserpulses am Boden und dem entsprechenden Rückweg nur eine geringe Strahlungsintensität am Sensor ankommt. Der generelle Zusammenhang zwischen ausgesandter und empfangener Energie wird durch die Laser-Radar-Gleichung beschrieben (Pfeifer et al., 2016), welche für bathymetrische Anwendungen in die Signalanteile von der Wasseroberfläche, der Wassersäule, dem Gewässerboden und der Hintergrundstrahlung inklusive von Verlusten in der Atmosphäre aufgeteilt wird (Abdallah et al., 2012; Tuldahl and Steinvall, 2004).

$$P_R = P_{WS} + P_{WC} + P_{WB} + P_{BK} \quad (6)$$

Gleichung 6 hat dabei dieselbe Form wie Gleichung 1. Die Signalverluste in der Laserbathymetrie sind damit äquivalent zu denen, die bereits in Abschnitt 2.1 für die radiometriebasierte Tiefenmessung beschrieben wurden. Dies trifft auch auf die exponentielle Dämpfung in der Wassersäule zu. Ein wesentlicher Vorteil der Laserbathymetrie ist, dass die Signalabschwächung, die in der Regel durch den effektiven Dämpfungskoeffizienten k beschrieben wird, aus der asymmetrischen Form der aufgezeichneten Wellenformen geschätzt werden kann (Richter et al., 2017; Schwarz et al., 2017). Zwischen dem Dämpfungskoeffizienten k und der sogenannten Secchi Tiefe d besteht ein direkter Zusammenhang ($d = 1.6/k$). Die Secchi Tiefe bezeichnet dabei jene Distanz, ab der man die diametralen schwarzen und weißen Quadranten einer Scheibe mit 20 cm Durchmesser, die vom Boot aus an einer Senkschnur ins Wasser gelassen wird, nicht mehr von einander unterscheiden kann. Die Hersteller von bathymetrischen Sensoren beschreiben die Tiefenmessperformance meist in Vielfachen der Secchi Tiefe.

Bei den bathymetrischen Laserscannern unterscheidet man zwischen Instrumenten, die für maximale Eindringtiefe optimiert sind und solchen, die auf möglichst hohe räumliche Auflösung und gleichzeitige Erfassung von Topographie und Bathymetrie ausgelegt sind. Erstere erreichen eine maximale Tiefe von etwa der dreifachen Secchi Tiefe (ca. 15–50 m bei klaren Küstengewässern) und verwenden dazu sehr hohe Pulsenergie

(3–7 mJ), eine verhältnismäßig lange Pulsdauer (4–7 ns), geringe Pulswiederholraten (3–10 kHz) und große Strahldivergenz (7 mrad). Die große Eindringtiefe wird dabei durch ein geringeres räumliches Auflösungsvermögen erkauft (Größe des Laserabdrucks an der Wasseroberfläche ≈ 3 –7 m). Im Gegensatz dazu setzen die sogenannten topobathymetrischen Sensoren auf hohe räumliche Auflösung (Strahldivergenz ≤ 1 mrad, Größe des Laserfootprints ≤ 60 cm, Pulsrate 70–550 kHz, Punktdichte im Einzelstreifen: ca 10–20 Punkte/m²) auf Kosten der maximalen Penetrationstiefe (ca. 1.5-fache Secchi Tiefe). Geräte dieser Art sind vor allem für Flachwassergebiete, die Wasserwechselzone und die simultane Erfassung der ufernahen Topographie optimiert (Mandlbürger, 2018b).

Die Erfassung der Wasseroberfläche ist eine Voraussetzung für die Refraktions- und Laufzeitkorrektur der rohen Messungen. Die meisten bathymetrischen Scanner betreiben dazu zusammen mit dem grünen Laser einen weiteren Kanal im nahen Infrarot (NIR: $\lambda = 1064$ nm), da die Signalabsorption in Wasser für NIR Strahlung sehr hoch ist und diese daher nur minimal in die Wassersäule eindringt. Andere Geräte verzichten auf diesen zusätzlichen Kanal, wodurch die Luft-Wasser-Grenzschicht allein aus den Reflexionen des Grünkanals modelliert werden muss. Da die Echos von der Wasseroberfläche oftmals eine Mischung aus direkter Reflexion und Volumenstreuung in den ersten cm der Wassersäule darstellen, sind in diesem Fall spezielle Auswerte- und Modellierungsmethoden erforderlich (Mandlbürger et al., 2013; Mandlbürger et al., 2015; Schwarz et al., 2017). Speziell für topo-bathymetrische Scanner mit kleinem Laserfootprint muss die Nicht-Planarität und Dynamik der Wasseroberfläche (Wellen) in Betracht gezogen werden, um präzise 3D Punktkoordinaten des Gewässerbodens zu erhalten (Westfeld et al., 2017). Vergleiche gegenüber Echolot oder tachymetrischen Referenzmessungen haben für Laserbathymetrie in Abhängigkeit des Gewässertyps (Küsten- oder Binnengewässer), der Trübheit, der Wassertiefe und der Rauigkeit der Wasseroberfläche eine Tiefenmessgenauigkeit im Bereich von 10–60 cm ergeben (Hilldale and Raff, 2008; Kinzel et al., 2013; Fernandez-Diaz et al., 2014; Mandlbürger et al., 2015; Song et al., 2015).

3. Laufende Forschungsaktivitäten

Der Trend in der Entwicklung von flugzeuggetragenen Sensoren geht in Richtung hybrider Messsysteme bestehend aus Laserscannern und multispektralen Kameras. Dies gilt für alle namhaften Hersteller (Leica Geosystems, Teledyne Optech, Rieg) und für topographische (Leica: CityMapper/TerrainMapper, Teledyne Optech: Galaxy, Rieg: VQ-1560i) wie auch bathymetrische Sensoren (Rieg VQ-880-G, Teledyne Optech CZMIL Nova, Leica Chiroptera II). Durch die zeitgleiche Aufnahme von Bildern und Scans gewinnt eine integrierte Auswertung der Daten von aktiven und passiven Fernerkundungssystemen zunehmend an Bedeutung. Die folgenden Themen werden daher zur Zeit im Rahmen des DFG Forschungsprojekts „Bathymetrieermessung durch Fusion von Flugzeuglaserscanning und multispektralen Luftbildern“ am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart behandelt:

- Die beschriebenen optischen Fernerkundungsmethoden zur Bathymetrieableitung werden derzeit jeweils getrennt angewandt. Es wird erwartet, dass die Ausnutzung der komplementären Messtechniken zu einer Steigerung der Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit des abgeleiteten Digitalen Geländemodells (DGM) der Unterwassertopographie führt.
- Laserbathymetrie ist ein monochromatisches Messverfahren mit einer Wellenlänge im grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Speziell für klares Wasser bieten kurzwelligere Kanäle von multi- oder hyperspektralen Sensoren ggf. auch eine bessere Durchdringung der Wassersäule. Dies trifft auch auf Wellenlängen an der unteren Grenze des sichtbaren Spektrums zu (Coastal Blue, $\lambda = 400 - 460$ nm).
- Tiefen aus Laserbathymetrie stellen optimale Referenzdaten für die Kalibrierung der Tiefen- und Substrattypenbestimmung aus multispektralen Bildern dar. Dieser Umstand kann genutzt werden, um automatische Prozessierungsketten für Multispektraldaten zu erstellen.
- Die Stärke von Laserbathymetrie gegenüber bildbasierten Verfahren liegt darin, dass die Gewässertiefe nicht über Radiometrie (Signalstärke, Textur), sondern über Laufzeitmessung abgeleitet wird. Wissen über die Wassertiefe reduziert die verbleibenden Unbekannten für radiometriebasierte Bathymetrieverfahren (vgl. Gleichung 2). Durch die Fusion simultan aufgezeichneter Bild- und Scandaten ist demnach

eine erhöhte Unterscheidbarkeit von Substrattypen (Sand, Schotter, Blöcke, festes Gestein) und Unterwasservegetation zu erwarten.

- Moderne Verfahren der Objektklassifizierung (Conditional Random Fields, Convolutional Neural Networks) sind in der Lage räumliche Kontextinformation einzubeziehen. Durch entsprechende Anpassungen und Erweiterungen dieser Verfahren hinsichtlich der Einbeziehung integraler Daten von aktiven und passiven Sensoren wird eine weitere Steigerung der Klassifikationsgenauigkeit angestrebt.
- Während die räumliche Auflösung der Laserbathymetrie durch die Größe des Laserabtastflecks (ca. > 50 cm) begrenzt ist, ist durch dichte Bildzuordnung mit Mehrmedienphotogrammetrie eine Auflösung im Bereich der Ground Sampling Distance (GSD) des Bildmaterials möglich. Durch Fortschritt in der Kameratechnologie und wegen der für bathymetrische Aufnahmen stets moderaten Flughöhe (ca. 500–600 m) sind heute Bodenpixelgrößen (GSD) kleiner als 10 cm als Stand der Technik zu betrachten. Zwar bewirken Refraktions- und Streuungseffekte Unschärfen am Gewässerboden, aber dennoch hat Mehrmedienphotogrammetrie in Kombination mit modernen Dense Matching Verfahren das Potenzial, die Erfassung von Objektdetails im seichten Bereich zu verbessern (Mandlbürger, 2018a).

Die aufgezählten Forschungsfragen werden dabei anhand konkreter Untersuchungsgebiete bearbeitet. Zur Verfügung stehen Daten der deutschen Ostseeküste (Song et al., 2015), von alpinen Flüssen (Mandlbürger et al., 2015) sowie von hochalpinen und voralpinen Seen (Mandlbürger, 2018a; Mandlbürger et al., 2018). Bei allen Aufnahmen wurden zeitgleich Daten von topobathymetrischen Laserscannern und mehrkanaligen Kameras (RGB, gelegentlich NIR und Coastal Blue) aufgezeichnet. Zur Evaluierung stehen Referenzmessungen aus terrestrischer Vermessung oder Echolotaufnahmen zur Verfügung.

4. Anwendungsbeispiele

In diesem Abschnitt zeigen exemplarische Ergebnisse die Stärken und Schwächen der Bathymetrieerfassung mittels aktiver und passiver optische Flugzeugfernerkundung. Die Untersuchungsgebiete liegen im hochalpinen Bereich (Grünausee, Blaue Lacke, Stubaitaler Alpen, Sulzenau, $46^{\circ}59' \text{ N}$; $11^{\circ}11' \text{ O}$) sowie in der Nähe von Augsburg (Autobahnsee, $48^{\circ}24' \text{ N}$; $10^{\circ}56' \text{ O}$). In

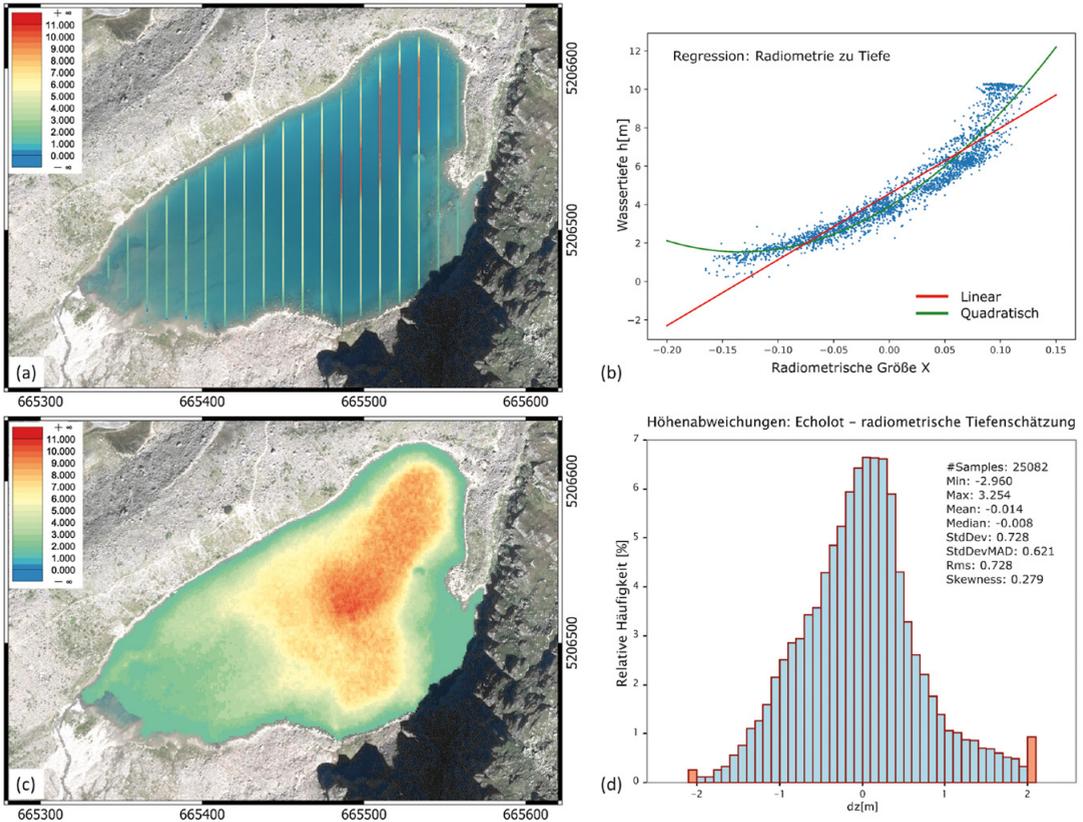


Abb. 4: Ergebnisse der radiometriebasierten Tiefenbestimmung an der Blauen Lache: (a) RGB Orthophotomosaik überlagert mit ausgewählten Echolot-Profilinien und farbkodierter Gewässertiefe, (b) Regression zwischen radiometrischer Kenngröße X und Wassertiefe h, (c) flächenhafte Tiefenkarte aus Bildradiometrie, (d) Histogramm der Tiefenabweichungen (Soll-Ist-Vergleich).

beiden Fällen erfolgte die Datenerfassung durch die Firma AHM (Innsbruck) mit einem Riegl VQ-880-G topo-bathymetrischen Laserscanner aus einer Flughöhe von 500–600 m über Grund. Bei einer Lasertakte von 550 kHz und einer Flugeschwindigkeit von etwa 100 Knoten beträgt die Punktdichte im Einzelstreifen für beide Gebiete etwa 20 Punkte/m² und der Durchmesser des Laserabstastflecks am Boden etwa 55–70 cm.

Die Befliegung der hochalpinen Seen in den Stubaier Alpen erfolgte im August 2017. Simultan mit den Full Waveform Laserscannerdaten wurden auch Luftbilder mit einer IGI/Hasselblad H39 Mittelformatkamera aufgenommen (39 Mpix, RGB, Längsüberdeckung 80 %, GSD: 10–15 cm). Weiters stellte das Land Tirol Luftbilder der Landesbefliegung aus dem Jahr 2015 und 2016 zur Verfügung (Vexcel UltraCam Eagle, 196 Mpix, RGBI, Längs-/Querüberdeckung: 80 % / 50 %, GSD: 15 cm). Echolotreferenzdaten wurden von der Universität Innsbruck, Arbeitsbereich

Wasserbau im Juli 2017 erfasst. Die ursprünglich zeitgleich geplante Befliegung konnte witterungsbedingt erst einige Wochen später und bei sub-optimalen hydrologischen Bedingungen (hoher Schwebstoffanteil in Folge von Starkregenereignissen) durchgeführt werden (Mandlbürger, 2018a). Da vor allem die Luftbildaufnahmen 2016 zu einem Zeitpunkt mit klarem Wasser erfolgte, ist in Abbildung 4 ein Beispiel für radiometriebasierte Tiefenbestimmung aus multispektralen Bildern auf Basis von ausgewählten Echolot Profillinien als Referenz dargestellt.

Die Erfassung des Autobahnsees sowie einiger anderer künstlicher Seen in der Umgebung von Augsburg (Bayern, Deutschland) erfolgte im April 2018. Spezifisches Ziel dieses Experimentes war die Untersuchung der Eignung von kurzwelligem Coastal Blue Bildmaterial ($\lambda = 400\text{--}460\text{ nm}$) für die Bathymetrieerfassung im (vor)alpinen Bereich. Dazu wurden neben dem Laserscanner zwei IGI DigiCAM 100 Kameras eingebaut (Sensorgröße:

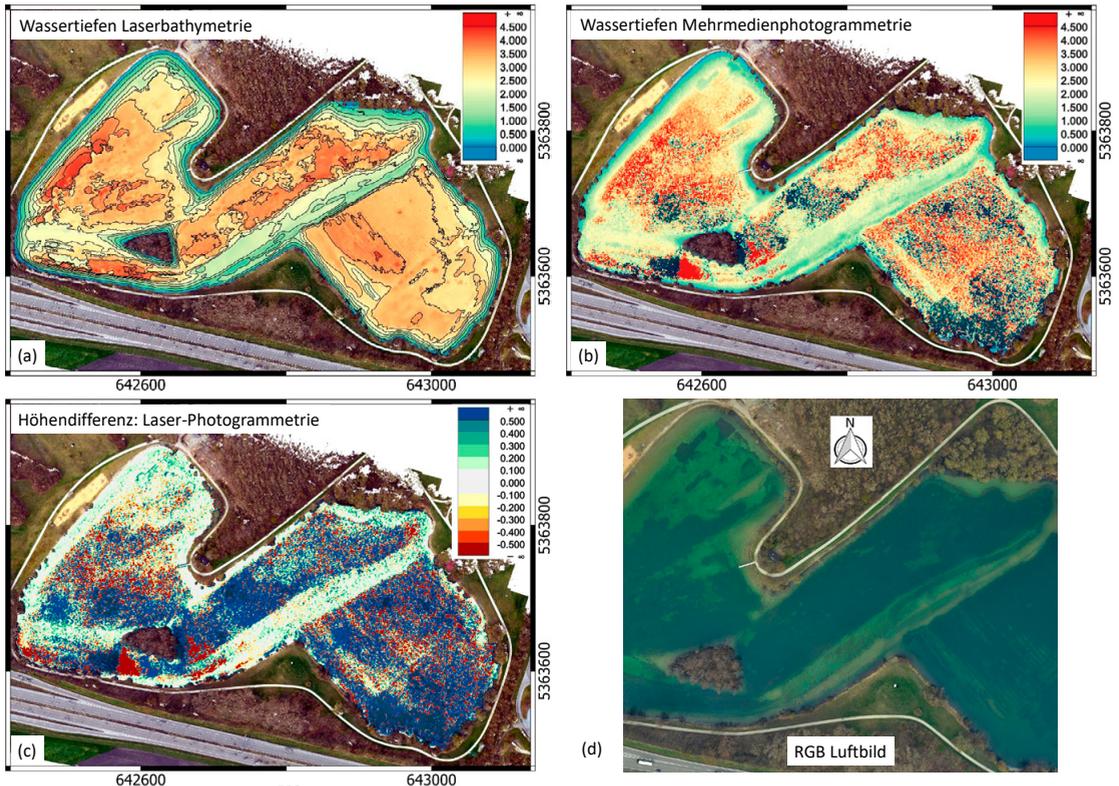


Abb. 5: Ergebnisse der Tiefenbestimmung aus Mehrmedienphotogrammetrie: (a) Orthophoto überlagert mit Lasertiefenmodell (farbkodierte Tiefenkarte und Tiefenlinien), (b) Orthophoto überlagert mit Tiefenkarte aus Mehrmedienphotogrammetrie, (c) Abweichungen der Tiefen aus Laserscanning und Photogrammetrie, (d) Ausschnitt aus RGB Luftbild (genordet).

11608 × 8708 pixel, GSD: 5 cm). Neben einer RGB Kamera mit Bayerfilter, wurde ein zweiter panchromatischer Sensor durch einen vorgesetzten Filter zu einer monochromatischen Coastal Blue Kamera umgebaut. Bei beiden Sensoren handelt es sich um adaptierte PhaseOne iXU-RS 1000 Kameras mit 50 mm Rodenstock Objektiv. Aufgrund der klaren Wasserbedingungen, der relativ geringen Wassertiefen (0 - 4.6 m) und der guten radiometrischen und geometrischen Auflösung des Kamerasystems ist dieser Datensatz gut für Mehrmedienphotogrammetrie und Laserbathymetrie (vollständige Erfassung des Seebodens) geeignet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

5. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 4 (Blaue Lacke, Stubaitaler Alpen) zeigt in vier Teilabbildungen den gesamten Prozess der radiometriebasierten Tiefenbestimmung. Basierend auf dem multispektralen Orthophoto

und ausgewählter Echolot-Profillinien (Abbildung 4a) erfolgte zunächst die polynomiale Regression (Abbildung 4b) zwischen einer radiometrischen Messgröße (Bild) und der Wassertiefe (Echolot), gefolgt von deren Anwendung auf alle Wasserpixel des Orthophotos (Abbildung 4c) bis hin zum Soll-ist-Vergleich (Abbildung 4d) in Bezug auf die gesamten flächenhaft erfassten Multibeam-Echolotreferenzdaten vom Juli 2017. Einerseits kann festgestellt werden, dass mit Hilfe weniger Referenzmesspunkte eine vollflächige Rekonstruktion der Seetopographie aus dem multispektralen Bildmaterial gelingt. Abbildung 4b zeigt dabei, dass die verwendete radiometrische Größe (natürlicher Logarithmus des Bandverhältnisses aus blau und grün) den Zusammenhang zwischen Radiometrie und Tiefe nicht gänzlich zu linearisieren vermochte (vgl. Gleichungen 2–4). Regression mit einem Polynom zweiten Grades liefert hingegen ein zufriedenstellendes Modell. Das daraus entstandene Tiefenmodell (Abbildung 4c) weist zwar lokales

Rauschen auf, gibt aber die generelle Struktur der Seetopographie detailliert wieder. Insbesondere sei der etwa $5 \times 4 \text{ m}^2$ große Felsblock nahe beim östlichen Seeufer (Abbildung 4a, 3. Echolotprofilinie) erwähnt, der gut im flächenhaften Tiefenmodell (Abbildung 4c) abgebildet ist. Die erzielte Gesamtgenauigkeit kann aus dem Histogramm der Soll-Ist-Höhenabweichungen (Abbildung 4d) abgelesen werden. Demnach ist die Schätzung erwartungstreu (Mittelwert/Median: $-1.4/-0.8 \text{ cm}$) mit einem robusten Streuungsmaß (StdDevMAD, MAD=Median of Absolut Differences) von 62.1 cm . Dies entspricht etwa 5% der Wassertiefe. Stumph et al. (2003) berichten in ihren Ergebnissen von einer Genauigkeit besser 30% . Der Grund für die bessere Genauigkeit des Blaue Lacke Datensatzes ist die Homogenität des Sohlsubstrats und des Wasserkörpers in der hochalpinen Region ohne nennenswerten Pflanzenbewuchs.

Die Erfassung von Gewässertiefen aus den Scan- und Bilddaten vom August 2017 beschränkte sich auf den unmittelbaren Uferbereich bis zu einer maximale Eindringtiefe von ca. 3.5 m . Dies zeigt klar die Grenzen der Bathymetrieerfassung durch optische Fernerkundung auf. Die Secchi Tiefe wurde im August 2017 mit 2.4 m gemessen, während diese im Juli 2017 zum Zeitpunkt der Echolotaufnahme beim Grünausee noch $>10 \text{ m}$ betrug. Während die Sonarvermessung weniger stark von der Gewässertrübheit beeinflusst und darüber hinaus generell für größerer Messtiefen geeignet ist, sind klare Wasserbedingungen eine Grundvoraussetzung für den Einsatz jeglicher Fernerkundungsmethode, die im optischen Bereich des elektromagnetischen Spektrums operiert.

Abbildung 5 zeigt die Performance von Laserbathymetrie im Vergleich zur Mehrmedienphotogrammetrie für das Untersuchungsgebiet Autobahnsee (Augsburg). Konkret sind in den Abbildungen 5a und 5b das Orthophotomosaik überlagert mit dem Seeboden-Tiefenmodell abgeleitet aus Laserbathymetrie und Mehrmedienphotogrammetrie dargestellt. In Abbildung 5c sind die Höhenabweichungen zwischen laser- und bildbasierter Messung zu sehen und Abbildung 5d schließlich zeigt ein ausgewähltes RGB Luftbild aus dem Zentralbereich des Autobahnsees. Im gegenständlichen Fall können die Laserbathymetriegergebnisse insofern als Referenz angesehen werden, als auch bei der maximalen Tiefe von 4.6 m noch ausreichend Signalstärke für eine zuverlässige Streckenmessung vorhanden ist. Die Refraktionskorrektur wurde für beide Messmetho-

den auf Basis eines Wasseroberflächenmodells aus den Laserechos von der Wasseroberfläche durchgeführt. Da es aus der Literatur bekannt ist, dass grüne Laserstrahlung einerseits an der Oberfläche reflektiert wird aber andererseits auch in den Wasserkörper eindringt, wurde für die Modellierung der Oberfläche ein statistischer Ansatz gewählt (Mandlbürger et al., 2013). Das Beispiel zeigt damit die Synergie der simultanen Erfassung von Laser- und Bilddaten, da der (grüne) Laser die Wasseroberfläche quasi als Nebenprodukt liefert, deren Kenntnis aber für Laserbathymetrie und Mehrmedienphotogrammetrie in gleicher Weise die Grundvoraussetzung für eine präzise Refraktionskorrektur darstellt.

Im Vergleich der beiden Tiefenmodelle ist zu konstatieren, dass das Lasermodell (Abbildung 5a) einen wesentlich ruhigeren und kontinuierlicheren Verlauf aufweist als das Tiefenmodell aus Mehrmedienphotogrammetrie und dichter Bildzuordnung (Abbildung 5b). Dabei ist zu bemerken, dass auch das Lasermodell stellenweise stufenartige Übergänge aufweist, die im Vergleich mit dem Luftbild unschwer als Grenzen von Vegetationsflächen ausgemacht werden können. Tatsächlich weist die 3D Unterwasser-Laserpunktwolke in gewissen Bereichen eine Durchdringung der Unterwasservegetation auf. Während diese prinzipielle Eigenschaft von Laserscanning im topographischen Fall für die DGM Erstellung im Waldbereich ausgenutzt wird, führt die starke Signalabsorption unter Wasser zu einer verminderten Durchdringungsfähigkeit. Bei sehr dichter Unterwasservegetation erfolgt dann auch keine Durchdringung, was zu den besagten Stufen im Lasertiefenmodell führt. Mit der photogrammetrischen Methode ist keine Durchdringung der Unterwasservegetation möglich, was zu den vielen blau eingefärbten Bereichen der Abbildung 4c führt, in welchen allesamt das Photomodel höher liegt als das des Lasers. Während diese Abweichungen verfahrensbedingt sind und sich auch in gleicher Weise an Land zeigen würden, zeigen die tief rot eingefärbten Bereiche mit unrealistisch großen photogrammetrisch bestimmten Gewässertiefen die Grenzen der bildbasierten Tiefenmessung auf. Eine zufriedenstellende Übereinstimmung besteht allerdings in den offenen Bereichen ohne Bewuchs. Hier ist bis zu einer Tiefe von 4 m eine gute Übereinstimmung von Laserbathymetrie und Mehrmedienphotogrammetrie gegeben (vgl. weißlich eingefärbte Bereiche in Abbildung 4c). Eine Ausnutzung der prinzipiell

höhen räumlichen Auflösung des Bildmaterials (GSD: 5 cm, Laserabtastfleck: 60 cm) kann dabei aber nur bei sehr guter Bodentextur und im sehr flachen Wasser erwartet werden.

6. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden die Grundlagen der Gewässervermessung mittels optischer Fernerkundung präsentiert, sowie Potenzial und Einschränkungen der einzelnen Messtechniken anhand konkreter Beispiele diskutiert. Die eingesetzten Methoden lassen sich grob in bildbasierte passive und laserbasierte aktive Methoden einteilen. Eine weitere Möglichkeit zur Klassifikation besteht hinsichtlich geometrie- und radiometriebezogener Verfahren. Während bei der Tiefenbestimmung aus multispektralen Bildern radiometrische Information genutzt wird und mittels Regression ein Zusammenhang zur Gewässertiefe hergestellt wird, ist die Mehrmedienphotogrammetrie ein geometriebasiertes Verfahren, wo die Radiometrie nur in Form von Grauwertunterschieden (Textur) ausgenutzt wird. Laserbathymetrie misst sowohl geometrische als auch radiometrische Größen, nämlich einerseits die Entfernung aus der Pulslaufzeit und die Stärke des empfangenen Signals. Bei allen drei Methoden unterliegen die Messsignale einer starken Absorption im Wasserkörper, abhängig einerseits von der verwendeten Wellenlänge und andererseits von äußeren Bedingungen (Trübe, Oberflächenrauigkeit). Bei den geometrischen Messverfahren (Laserbathymetrie und Mehrmedienphotogrammetrie) ist eine konsequente Modellierung der Signalwege inklusive der Berücksichtigung der Strahlbrechung erforderlich, um präzise Unterwassertopographie zu erhalten.

Vorteile für flugzeugbasierte Bathymetrieerfassung mittels optischer Fernerkundungsverfahren bestehen vor allem im Flachwasserbereich, wo etablierte Verfahren der sonarbasierten Hydrographie unwirtschaftlich, gefährlich oder gänzlich unmöglich werden. Im Gegensatz dazu ist mit Laserbathymetrie und Mehrmedienphotogrammetrie ein nahtloser Übergang zwischen Wasser und Land möglich. Der Einsatz ist allerdings auf seichte Gewässer mit klarem Wasser beschränkt. Für die Erfassung von tiefen Gewässern ist die Sonarvermessung nach wie vor die Methode der Wahl. In diesem Sinne sind flugzeugbasierte optische Bathymetrie und schiffsbasierte Echolotvermessung als komplementäre, einander ergänzende Messmethoden zu sehen.

Referenzen

- Abdallah, H., Baghdadi, N., Bailly, J.-S., Pastol, Y., Fabre, F., 2012. *Wa-LiD*: a new lidar simulator for waters. *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters*, 9(4), S. 744–748.
- Brown, Craig J., Smith, Stephen J., Lawton, Peter, Anderson, John T., 2011: Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92 (3), S. 502–520.
- Christiansen, Lutz, 2016: New techniques in capturing and modelling of morphological data; HYDRO 2016 paper, Hydrographische Nachrichten, HN 105, S. 20–23
- Dietrich, J. T., 2016: Bathymetric Structure-from-Motion: extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42 (2), S. 355–364.
- EU, 1992: Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora.
- EU, 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action the Field of Water Policy.
- EU, 2007: Directive 2007/60/EC of the European Parliament and European Council of October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks.
- Fernandez-Diaz, J., Glennie, C., Carter, W., Shrestha, R., Sartori, M., Singhania, A., Legleiter, C., Overstreet, B., 2014: Early Results of Simultaneous Terrain and Shallow Water Bathymetry Mapping Using a Single-Wavelength Airborne LiDAR Sensor. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 7, S. 623–635.
- Guenther, G.C., Cunningham, A.G., Laroque, P.E., Reid, D.J., 2000: Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. In: Proceedings of the 20th EARSeL Symposium: Workshop on Lidar Remote Sensing of Land and Sea, Dresden.
- Kinzel, P.J., Legleiter, C.J., Nelson, J.M., 2013: Mapping River Bathymetry with a Small Footprint Green LiDAR: Applications and Challenges. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 49 (2013), S. 183–204.
- Heine, Erwin, Weidinger, Johannes Thomas, Götz, Joachim, 2016a: Geologisch-geomorphologische Untersuchungen des subaquatischen Bereichs von Erdströmen in den Traunsee (OÖ) unter Anwendung von Fächerecholot und parametrischem Sedimentecholot. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI)*, Heft 1, S. 25–37.
- Heine, Erwin, Briese, Christian, Csaplovics, Elmar, Eberhöfer, Christian, Loiskandl, Willi, 2016b: Hydrographische Vermessung des Neusiedler Sees. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI)*, Heft 1, S. 9–24.
- Hilldale, R., Raff, D., 2008: Assessing the ability of airborne Lidar to map river bathymetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33, S. 773–783.
- Hirschmüller, H., 2008: Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30 (2), S. 328–341.
- Hodúl, M., Bird, S., Knudby, A., Chénier, R., 2018: Satellite derived photogrammetric bathymetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 142, S. 268–277.
- Kotowski, R., 1988: Phototriangulation in Multi-Media-Photogrammetry. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* XXVII, S. 324–34.

- Legleiter C., Roberts D., Lawrence R., 2009: Spectrally based remote sensing of river bathymetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1059, S. 1039–1059, doi: 10.1002/esp.1787.
- Legleiter, C. J., 2016: Inferring river bathymetry via Image-to-Depth Quantile Transformation (IDQT). *Water Resour. Res.*, 52, S. 3722–3741, doi: 10.1002/2016WR018730.
- Lyzenga, D., 1978: Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied Optics*, 17(3), pp. 379–383.
- Lyzenga, D., Malinas, N., Tanis, F., 2006: Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), pp. 2251–2259.
- Maas, H.-G., 2015: On the Accuracy Potential in Underwater/Multimedia Photogrammetry. *Sensors* 15, S. 18140–18152, doi: 10.3390/s150818140.
- Mandlbürger, G., Pfennigbauer, M., Pfeifer, N., 2013: Analyzing near water surface penetration in laser bathymetry—A case study at the River Pielach. In *Proceedings of ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Antalya, Turkey.
- Mandlbürger, G., Hauer, C., Wieser, M., Pfeifer, N., 2015: Topo-Bathymetric LiDAR for Monitoring River Morphodynamics and Instream Habitats—A Case Study at the Pielach River. *Remote Sens.*, 7 (2015), S. 6160–6195.
- Mandlbürger, G., 2018a: A Case Study on Through-Water Dense Image Matching. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42 (2), S. 659–666.
- Mandlbürger, G., 2018b: A Review of Airborne Laser Bathymetry Sensors. In: *Proceedings of 5th IAHR Europe Congress*, Trento, Italy, S. 41–42.
- Mandlbürger, G., Kremer, J., Steinbacher, F., Baran, R., 2018: Investigating the use of coastal blue imagery for bathymetric mapping of inland water bodies. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, in press.
- Mulsow, C., 2010: A flexible multi-media bundle approach. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38 (5), S. 472–477.
- Murase, T., Tanaka, M., Tani, T., Miyashita, Y., Ohkawa, N., Ishiguro, S., Suzuki, Y., Kayanne, H., Yamano, H., 2008. *A photogrammetric correction procedure for light refraction effects at a two-medium boundary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(9), 1129–1136. ISSN 0099-1112.
- Pfeifer, N., Mandlbürger, G., Otepka, J., Karel, W., 2014: OPALS - A framework for Airborne Laser Scanning data analysis. *Computers. Environment and Urban Systems*, 45, S. 125 - 136.
- Pfeifer, N., Mandlbürger, G., Glira, P., 2016: Laserscanning. In: *Handbuch der Geodäsie: 5 Bände, Photogrammetrie und Fernerkundung*; W. Freedon, R. Rummel (Hrsg.); Springer, Berlin Heidelberg, 2016, ISBN: 978-3-662-46900-2, S. 1 - 51.
- Schwarz, R., Pfeifer, N., Pfennigbauer, M., Ullrich, A., 2017: Exponential Decomposition with Implicit Deconvolution of Lidar Backscatter from the Water Column, *PFG -- Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 85 (3), S. 159–167.
- Song, Y., Niemeyer, J., Ellmer, W., Soergel, U., Heipke, C., 2015: Comparison of three airborne laser bathymetry data sets for monitoring the German Baltic Sea Coast. *Proc. SPIE 9638, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2015*, 96380Z, doi:10.1117/12.2194960.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., and Sinclair, M., 2003. *Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. Limnology and Oceanography*, 48, S. 547–556.
- Richter, K., Maas, H.-G., Westfeld, P., Weiß, R., 2017: An Approach to Determining Turbidity and Correcting for Signal Attenuation in Airborne Lidar Bathymetry. *PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 85 (2017), pp. 31–40.
- Rinner, K., 1948: *Abbildungsgesetz und Orientierungsaufgaben in der Zweimedienphotogrammetrie. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, Sonderheft 5*; Eigenverlag: Wien, Österreich.
- Tulldahl, H. M., Steinvall, K. O., 2004: Simulation of sea surface wave influence on small target detection with airborne laser depth sounding. *Appl. Opt.*, 42(12), pp. 2462–2483.
- Wenzel, K., Rothermel, M., Haala, N., Fritsch, D., 2013: SURE – The IfP Software for Dense Image Matching. *Photogrammetric Week*, 13, Wichmann/VDE Verlag, Berlin & Offenbach, S. 59–70.
- Westfeld, P., Maas, H.-G., Richter, K., Weiß, R., 2017: Analysis and correction of ocean wave pattern induced systematic coordinate errors in airborne LiDAR bathymetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, pp. 314–325.
- Wimmer, M., 2016: Masterarbeit, Department für Geodäsie und Geoinformation, TU Wien, <http://repositum.tuwien.ac.at/urn:nbn:at:at-ubtuw:1-2619> (letzter Zugriff: 2018-09-21).
- BMNT, 2018a: https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu_wasserrecht/Wasserrahmen-RL.html, (letzter Zugriff: 2018-09-21).
- BMNT, 2018b: https://www.bmnt.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu_wasserrecht/Hochwasser-RL.html, (letzter Zugriff: 2018-09-21).
- UBA, 2018: http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/naturschutz/ffh_richtlinie/, (letzter Zugriff: 2018-09-21).

Anschrift des Autors

Gottfried Mandlbürger, Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70178 Stuttgart, Deutschland.

E-Mail: gottfried.mandlbuerger@ifp.uni-stuttgart.de

und

Department für Geodäsie und Geoinformation, TU Wien, Gusshausstr. 27-29, 1040 Wien, Österreich.

E-Mail: gottfried.mandlbuerger@geotuwien.ac.at





The European Space Agency's Earth Observation Programme

Das Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Weltraumbehörde (ESA)

Wolfgang Rathgeber, Frascati

Abstract

The European Space Agency started managing an Earth Observation Programme in 1977 with the launch of its first meteorological satellite, Meteosat. Over the decades this has grown into a world-class fleet of satellites addressing a wide range of science and applications. More recently, ESA has embarked on the world's most ambitious Earth Observation programme to date: Copernicus, with currently six series of Sentinels.

Keywords: ESA, Earth Observation, Satellite, Mission, Earth Explorer, Copernicus

Kurzfassung

Die Europäische Weltraumbehörde ESA begann 1977 mit dem Start ihres ersten Wettersatelliten Meteosat ein umfangreiches Erdbeobachtungsprogramm. Im Laufe der Jahrzehnte hat sich daraus eine Weltklasse-Flotte von Satelliten entwickelt, die ein breites Spektrum für die Wissenschaft und andere Anwendungen abdeckt. Vor kurzem hat die ESA das bislang ehrgeizigste Erdbeobachtungsprogramm der Welt lanciert: Copernicus mit derzeit sechs Sentinel-Missionen.

Schlüsselwörter: Erdbeobachtung, Satelliten, Earth Explorer, Sentinel, Copernicus

1. Introduction

The European Space Agency (ESA) has been managing an Earth Observation Programme since the launch of its first Meteosat meteorological satellite in 1977. Following the success of this first mission, a subsequent series of Meteosat satellites, two Earth Remote Sensing satellites (ERS-1, ERS-2), and the Envisat mission provided a wealth of valuable data about Earth, its climate and changing environment. As a result, ESA has become a major provider of Earth observation data and stimulated the build-up of the Earth science community and beyond.

Started in the mid-1990s, the ESA's Living Planet Program heralded a new approach to satellite observations for Earth science with focused missions defined, developed, and operated in close cooperation with the worldwide scientific community. As time progressed, three main categories of ESA Earth observing missions have emerged: Earth Explorer, Earth Watch, and Copernicus (formerly GMES) Sentinel missions.

ESA also distributes satellite data from international partner agencies, so called Third Party Missions (TPM). The data from these missions are distributed under specific agreements with the owners or operators of those missions, which can be either public or private entities within or outside Europe.

2. ERS and Envisat

Both these missions addressed a wide range of environmental questions and predate the formal establishment of the Earth Explorer and Sentinel missions. The first European Remote Sensing Satellite (ERS-1) was launched in 1991. It was ESA's first sun-synchronous polar-orbiting remote sensing mission. ERS-1 carried a comprehensive payload including an imaging Synthetic Aperture Radar (SAR), radar altimeter, and other instruments to measure ocean surface temperature and winds. In March 2000, nine years after launch, a computer and gyro control failure led to ERS-1 finally ending its operations after far exceeding its planned lifetime.

ERS-2, which overlapped with ERS-1, was launched in 1995 with an additional sensor for atmospheric ozone research. Both satellites collected a wealth of valuable data on Earth's land surfaces, oceans, and polar regions that were used to monitor natural disasters such as severe flooding and earthquakes in remote areas of the world. Shortly after the launch of ERS-2 in 1995, ESA operated the two satellites in the first 'tandem' mission mode, which lasted for nine months. Beyond the sheer increase in revisiting the same site, this tandem operation boosted SAR-interferometry applications particularly for the generation of digital terrain models (DTMs). In July 2011, ERS-2 was retired and the process of de-orbiting the satellite began.

The giant Environmental Satellite (Envisat) was launched in 2002. The largest Earth observing satellite ever built by any space agency, it was an advanced polar-orbiting satellite that provided measurements of the atmosphere, ocean, land, and ice for over 10 years, double its initially planned lifetime. Envisat's ambitious and innovative payload provided new Earth science data and also ensured the continuity of the data from the two ERS satellites. Exceeding its predicted lifetime by a factor of three, the end still was sudden. In April 2012, contact with Envisat was lost without warning, likely as a consequence of a failure in the power-regulator or a short-circuit. However, ten years of Envisat's archived data continue to be exploited for studying our planet with demand remaining very high even today.

3. Earth Explorer Missions

The Earth Explorers are research missions designed to address key scientific challenges identified by the science community, while demonstrating breakthrough technology in observing techniques. These missions involve the science community right from the beginning in the definition of new missions followed by a peer-reviewed selection process ensuring that the resulting mission is developed efficiently, and provides the data required by the user. This approach also gives Europe an excellent opportunity for international cooperation with the global scientific community and in the area of technological development. It should be added that some Earth Explorer missions also feature an operational perspective.

GOCE: Launched in 2009, the Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE) mission was the first of the Earth Explorers. GOCE was designed to provide information for understanding critical Earth system variables, such as ocean circulation, sea-level change and variations in ice cover driven by the Earth's gravitational field. The gravitational gradients were measured by a set of six three-axis accelerometers. GOCE provided data to accurately determine global and regional models of Earth's gravity field and geoid, the shape that the surface of the oceans would take under the influence of Earth's gravitation and rotation alone. This advanced research in areas of ocean circulation and ocean dynamics, physics of Earth's interior, geodesy and surveying, and sea-level change.

All mission requirements had been met by the end of 2012. GOCE went on to map gravity sig-

nals significantly beyond its original goal of 100 km altitude resolution. The advance meant that for the first time, global ocean currents could be extracted directly from satellite altimetry data. At the end of January 2012, GOCE's orbit was lowered to 235 km, increasing the accuracy and resolution of the measurements to 80 km and improving GOCE's view of smaller ocean dynamics. The satellite was further lowered to 225 km at the end of May 2013 and re-entered Earth's atmosphere in November 2013.

SMOS: Also launched in 2009, the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission is making global observations of soil moisture and ocean salinity using a unique L-Band Radiometer Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis (MIRAS). Soil moisture data are required for hydrological studies and ocean salinity data are vital for improving our understanding of ocean circulation patterns. SMOS completed its nominal three-year mission lifetime in November 2012, but continues to provide valuable results to this day, also beyond its initial mission objectives measuring ice thickness and wind speed.

CryoSat-2: In 2010, Europe's first ice mission CryoSat-2 was launched. Its principal instrument is the Synthetic Aperture Radar/Interferometric Radar Altimeter is designed to measure centimetre-scale changes in thickness of ice floating in the oceans and the ice sheet thickness that blanket Greenland and Antarctica. When combined with other satellite data, analyses showing how the volume of Earth's ice is changing leads to a better understanding of the relationship between ice and the Earth's climate. Cryosat-2 is providing accurate, synoptic, Arctic measurements of ice thickness and column in unprecedented detail.

Swarm: Launched in 2013, Swarm is a constellation of three satellites that provide high-precision and high-resolution measurements of the strength and direction of the Earth's magnetic field using an advanced magnetometer, an accelerometer and an electric field instrument. The geomagnetic field models resulting from the Swarm mission enable new insights into the Earth's interior. They further our understanding of atmospheric processes related to climate and weather, and have practical applications in many different areas such as space weather and radiation hazards.

Aeolus: Launched on 22 August 2018, the Atmospheric Dynamic Mission Aeolus will advance global wind profile observations and provide

much-needed information to improve weather forecasting. Aeolus will orbit in a Sun-synchronous, dusk/dawn orbit at 408 km and employ a highly sophisticated Doppler wind lidar with a large telescope that collects light backscattered from gas, dust, and droplets of water in the atmosphere. Data from Aeolus are expected to pave the way for future operational meteorological satellites dedicated to measuring Earth's wind fields.

EarthCARE: With a target launch date in 2021, the Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer (EarthCARE) mission is being implemented in cooperation with the Japanese Aerospace Exploration Agency (JAXA). Its aim is to improve the representation and understanding of Earth's radiative balance in climate and numerical weather forecast models. This will be achieved by global measurements of the vertical structure and horizontal distribution of cloud and aerosol fields together with outgoing radiation. The payload comprises two active instruments: a high-resolution atmospheric lidar and radar, and two passive instruments: a multispectral imager and a broadband radiometer. EarthCARE will orbit in an early afternoon sun-synchronous orbit at 393 km.

Biomass: This mission will employ a novel P-band synthetic aperture polarimetric radar operating at 435 MHz and a 6 MHz bandwidth. The satellite will fly at 637-666 km in a near polar sun-synchronous orbit, and will address one of the most fundamental questions in our understanding of the land component in the Earth system, namely the status and the dynamics of forests, as represented by the distribution of biomass and how it is changing. Biomass will greatly improve our knowledge about the terrestrial carbon pool and fluxes. In addition, the mission responds to the pressing need for biomass observations in support of global treaties such as the United Nations Framework Convention on Climate Change initiative for the Reduction of Emissions due to Deforestation and Forest Degradation.

FLEX: In November 2015 ESA Member States selected the Fluorescence Explorer (FLEX) as the eighth Earth Explorer, following a User Consultation Meeting in September 2015. FLEX is a three-year mission slated for launch in 2022. It will globally monitor the steady-state chlorophyll fluorescence in terrestrial vegetation. FLEX includes three instruments to measure the interrelated features of fluorescence, hyperspectral reflectance, and canopy temperature. FLEX will orbit

in tandem with one of the Copernicus Sentinel-3 satellites.

Earth Explorers 9 and 10: For Earth Explorer 9, a call for proposals was published in 2016. Out of the 13 concepts received, two candidates were selected to enter a competitive feasibility phase. These two candidates will spend the next two years being studied thoroughly. In 2019, a User Consultation Meeting will be held, after which a decision will be taken by ESA's Member States as to which of the two contenders will be implemented. Earth Explorer 9 is foreseen to be launched in 2025.

A Call for Mission Ideas, initiating the process for Earth Explorer 10, was released in September 2017. Three candidates to enter Phase 0 studies have been selected in September 2018. The launch of Earth Explorer 10 is foreseen for 2027/28.

4. Earth Watch Missions

The Earth Watch missions are designed to provide Earth observation data for services, including those of the European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), whose main purpose is to deliver operational weather and climate-related satellite data, images, and products to the European National Meteorological Services as well as to other users worldwide. The ESA-EUMETSAT partnership was established in 1986 and was implemented with a series of geostationary (Meteosat) and polar orbiting (MetOp) satellites, where ESA builds the satellites that are then operated by EUMETSAT.

Meteosat Second Generation (MSG) is a significantly enhanced, follow-on system to the first generation of Meteosat (MFG). MSG consists of a series of four geostationary meteorological satellites, along with a ground-based infrastructure, that will operate consecutively until 2020. The last MSG satellite, MSG 4, was launched in July 2015. The MSG satellites carry two instruments. The Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI), which has the capacity to observe the Earth in 12 spectral channels and provide image data that are core to operational forecasting needs, and the Geostationary Earth Radiation Budget (GERB) instrument supports climate studies.

The Meteosat Third Generation (MTG) satellite programme will bring a step change in capability for operational meteorology. The programme will

guarantee access to space-acquired meteorological data until, at least, the late 2030s. MTG will continue visible and infrared imagery and infrared and ultraviolet/near infrared sounding observations from geostationary orbit that will result in three-dimensional information on humidity, temperature, and wind to support Nowcasting.

The series will comprise six satellites: four MTG-I imaging and two MTG-S sounding satellites. The two types will be positioned over the same longitude in their geostationary orbits. The sounding element will also host the Copernicus Sentinel-4 air quality observatory (see below). The first MTG satellite is planned to be launched around 2020/2021.

The EUMETSAT Polar System (EPS) is Europe's first polar-orbiting operational meteorological satellite system, and it is the European contribution to the Initial Joint Polar-orbiting Operational Satellite System (IJPS), a joint effort between EUMETSAT and NOAA. EUMETSAT's polar-orbiting satellites (i.e. MetOp satellites) carry a set of state-of-the-art sounding and imaging instruments that offer improved atmospheric sounding capabilities to both meteorologists and climatologists.

The EPS Space Segment includes three successive MetOp satellites and is being developed and procured in cooperation between ESA and EUMETSAT. MetOp-A was launched in 2006 and MetOp-B in September 2012. In April 2013, MetOp-B replaced MetOp-A as the EUMETSAT prime operational polar-orbiting satellite, following the end of its commissioning period. MetOp-C is slated for launch in November 2018. With combinations of instruments onboard MetOp satellites have remote sensing capabilities to observe the Earth during day- and night-time hours, as well as under cloudy conditions.

The follow-on EUMETSAT Polar System is now under way to replace the current satellite system in the 2020 timeframe and to contribute to the IJPS. Started in 2005 under the name of Post-EPS, the activities have been endorsed in 2012 under a new programme called MetOp Second Generation (MetOp-SG). Comprising six MetOp Second Generation satellites in total, this programme is based on pairs of satellites that carry different packages to deliver complementary meteorological information. The A series of satellites will be equipped with atmospheric sounders as well as optical and infrared imagers, while the B series focuses on microwave sensors. In addition,

the A series will carry the Copernicus Sentinel-5 instrument on behalf of the European Commission. Each satellite will be launched separately. It is envisaged that the first satellites will be launched in 2022.

5. The Sentinel Missions

Copernicus is the world's most ambitious Earth observation programme. It is Europe's answer to global needs, allowing to manage the environment, to mitigate the effects of climate change and to ensure civil security. Copernicus is led by the European Union, with ESA being the coordinator of the space component. The Sentinels form the dedicated part of the Copernicus Space Component. Currently there are six Sentinel families, as detailed below. The missions feature constellations of two satellites to provide robust datasets for operational services. Additional families of Sentinels are being considered in the context of the Copernicus evolution.

Sentinel-1 is a polar-orbiting, all-weather, day-and-night mission featuring a C-band Synthetic Aperture Radar (SAR) supporting Copernicus operational services for land, marine, and risk monitoring. The first satellite, Sentinel-1A, was launched in April 2014, and Sentinel-1B in April 2016.

Sentinel-2 is a polar-orbiting, multispectral high-resolution imaging mission for Copernicus land monitoring to provide imagery of vegetation, soil and water cover, inland waterways, and coastal areas. Sentinel-2 will also provide information for emergency services. The first satellite, Sentinel-2A, was launched in June 2015, and Sentinel-2B in March 2017.

Sentinel-3 is a mission composed of two operational satellites with a one day (land) and a two day (ocean) revisit time. Each satellite will carry an Ocean and Land Colour Instrument (OLCI), a Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) and a microwave payload including a SAR Radar Altimeter (SRAL) and a two frequency Microwave Radiometer (MWR). This mission will support activities in the field of topography, sea and land surface temperature, ocean carbon, and land colour. The first satellite, Sentinel-3A, was launched in February 2016, and Sentinel-3B in April 2018.

Sentinel-4 is a payload devoted to atmospheric monitoring that will be embarked on an MTG-S satellite. Ultraviolet and near infrared spectro-

meters will be used to continuously monitor air pollution and its precursors from North Africa to northern Europe at a $6 \times 6 \text{ km}^2$ spatial and one hour temporal resolutions.

Sentinel-5 Precursor is a polar sun-synchronous mission scheduled to launch in 2015 to reduce data gaps between Envisat and Sentinel-5 for global atmospheric composition measurements including ozone, aerosols and atmospheric pollution precursors. The instrument is a follow-on to the Ozone Monitoring Instrument (OMI) flying on the NASA's Aura satellite with additional channels in the near infrared. Sentinel-5P was launched in October 2017.

Sentinel-5 is a payload that will monitor the atmosphere from polar orbit aboard a MetOp-SG A satellite. It will continue the atmospheric composition data collected from Envisat and employ ultraviolet and infrared spectrometers that will measure profiles and column amounts of trace gases and aerosols important in atmospheric chemistry and climate.

Sentinel-6 carries a radar altimeter to provide high-precision and timely observations of the topography of the global ocean. This information is essential for the continued monitoring of changes in sea level, a key indicator of climate change. It is also essential for operational oceanography. Sentinel-6 builds on heritage from the Jason series of ocean topography satellites and from ESA's CryoSat mission. Sentinel-6 is designed to complement ocean information from Sentinel-3.

6. Outlook

ESA's Earth science program has been steadily growing since the 1990's. Distributing high-quality

data and building on continuous technological progress driven by the computer and internet revolution, the "free & open" data policy has been the ultimate accelerator in guaranteeing the maximum exploitation of ESA data.

Copernicus has kicked off a new era of operational Earth observation, leaving the initial "pure science and technology" phase behind and meeting with huge user interest: By October 2018, more than 174.000 users have registered on the Copernicus open access hub, and more than 96 PB of Copernicus data have been downloaded from this hub.

Currently Earth Observation is experiencing major trends and paradigm shifts, such as exponential growth in availability of data, the impact of big data and cloud processing, the entrance of new private and institutional actors into the field, the multiplication of national initiatives in Earth Observation, as well as the emergence of venture-capital funded micro-satellite constellations. In addition, advances in on-board technologies are constantly improving spatial resolution and measurement accuracies.

ESA is taking adequate measures to stay on top of these developments. With its suite of missions and programmes, ESA is devoted to bringing the benefits of space based Earth observation to citizens in Europe and worldwide.

Contact

Dr. Wolfgang Rathgeber, ESA - European Space Agency, Strategy, Programme & Coordination Office, Directorate of Earth Observation Programmes, Largo G. Galilei 1, 00044 Frascati (RM), Italy.
Email: wolfgang.rathgeber@esa.int

Bestimmung von Schwerefeldlösungen aus der Satellitenmission GRACE am Institut für Geodäsie der Technischen Universität Graz

Determination of GRACE Gravity Field Solutions at the Institute of Geodesy at Graz University of Technology



Torsten Mayer-Gürr, Saniya Behzadpour, Matthias Ellmer, Beate Klinger, Andreas Kvas, Sebastian Strasser und Norbert Zehentner, Graz

Kurzfassung

Das Schwerefeld der Erde und seine zeitliche Änderung stellen wichtige Beobachtungsgrößen in der Erforschung des dynamischen Systems Erde dar. Die Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) wurden entwickelt, um ebendiese zeitlichen Variationen und den langwelligen Anteil des Erdschwerefeldes erstmals mit globaler Überdeckung hochgenau zu erfassen. Das Institut für Geodäsie an der Technischen Universität Graz prozessiert die Rohdaten der GRACE-Mission und stellt monatliche, tägliche und statische Schwerefeldlösungen für die wissenschaftliche Gemeinschaft zur Verfügung. Die in Graz berechneten Schwerefeldmodelle wurden unter anderem im Rahmen der Climate Change Initiative (CCI) der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) verwendet, um Massenbilanzen der Eisschilde von Grönland und der Antarktis zu bestimmen. Als Teil der Gravity Observation Combination (GOCO) Initiative steuert Graz hochauflösende GRACE-Modelle für die Kombination mit weiteren Schwerefeldmissionen wie GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) und terrestrischen Daten bei. Tägliche Lösungen aus Graz werden zum Beispiel in der Erforschung großer Hochwasserereignisse verwendet.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Prozessierungskette der GRACE-Schwerefeldbestimmung, beginnend bei der Datenvorprozessierung, über die Bestimmung von kinematischen Satellitenorbits aus GPS Beobachtungen sowie der Verbesserung der gemessenen Satellitenorientierung durch Sensor-Fusion, bis zur Schätzung der Schwerefeldparameter nach kleinsten Quadraten. Das funktionale Modell zwischen der Hauptbeobachtung von GRACE – hochgenaue Relativgeschwindigkeiten – und dem unbekanntem Schwerefeld sowie die Bestimmung des stochastischen Modells der Satellitenbeobachtungen werden erläutert. Abschließend werden Anwendungsbeispiele der in Graz erstellten GRACE-Produkte gezeigt.

Schlüsselwörter: GRACE, Zeitvariables Schwerefeld, Satellitendaten

Abstract

The gravity field and its variations in time are important observables for the understanding of Earth's dynamic system. The twin satellites of the GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) mission have been designed to measure such temporal variations as well as the long-wavelength part of Earth's gravity field with unprecedented accuracy on a global scale. The Institute of Geodesy at Graz University of Technology produces monthly, daily, and static gravity field solutions from raw observations of the GRACE mission for the scientific community. GRACE gravity fields derived in Graz have been used within the framework of the Climate Change Initiative (CCI) of the European Space Agency (ESA). As part of the Gravity Observation Combination (GOCO) initiative, Graz produces high-resolution static gravity fields from GRACE for combination with other satellite gravity missions such as GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) and terrestrial data. Daily solutions computed in Graz are for example used to study large flood events.

This contribution gives an overview of the processing chain for GRACE gravity field recovery employed at Graz University of Technology. It comprises data preprocessing, determination of kinematic orbit positions from GPS observation, improvement of the measured satellite attitude, and the estimation of the gravity field parameters using a least squares adjustment. The functional model between the main observable – highly accurate relative velocities between the satellites – and the unknown gravity field is exemplified and an approach for the determination of the stochastic characteristics of the satellite observations is shown. To conclude, we present some applications for the GRACE gravity fields computed in Graz.

Keywords: GRACE, Time variable gravity field, Satellite data

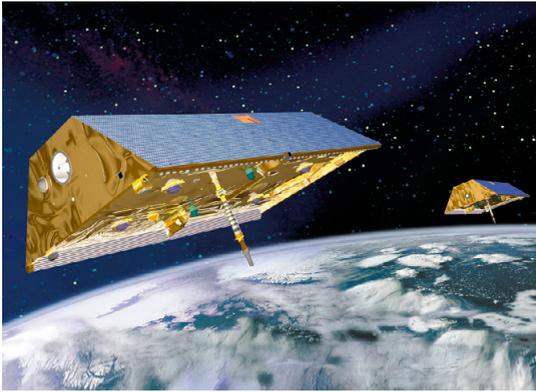


Abb. 1: Illustration der GRACE Satelliten im Orbit (Quelle: NASA)

1. Einleitung

Die Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) lieferte seit 2002 Daten zur präzisen Bestimmung des statischen und zeitvariablen Schwerefeldes der Erde [1]. Obwohl nur für 5 Jahre geplant, endete die Mission erst nach mehr als 15 Jahren im Jahr 2017. Die Nachfolge mission GRACE-FO (Follow On) wurde am 22. Mai 2018 erfolgreich gestartet.

Sowohl die GRACE-Mission als auch die GRACE-FO-Mission bestehen aus zwei Satelliten, die in einem Abstand von ca. 250 km auf der gleichen Bahn hintereinander herfliegen (vgl. Abbildung 1). Der Abstand wird präzise mit einem Mikrowelleninstrument im K-Band-Bereich mit einer Genauigkeit von wenigen Mikrometern gemessen. Durch die räumlich variierende Masseverteilung der Erde und die damit einhergehende unterschiedliche Gravitationskraft werden die Satelliten an jedem Punkt der Bahn unterschiedlich beschleunigt. Dadurch ändert sich der Abstand der Satelliten ständig ein wenig. Die hochgenaue Messung dieser Abstandsänderung ermöglicht daher Rückschlüsse auf das Gravitationsfeld und damit Massenvariationen im dynamischen System Erde. Die Hauptverursacher dieser Massenvariationen sind klimarelevante geophysikalische und anthropogene Prozesse, wie Änderungen in der kontinentalen Hydrologie, Änderungen der Kryosphäre, und großräumige Fluktuationen im Ozean und der Atmosphäre. Bekannte Beispiele hierfür sind die Grundwasserentnahme in Nordindien, das Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes oder auch hydrologische Extremereignisse wie das Donauhochwasser 2006. Die enorme Bedeutung der GRACE-Mission für die Klimaforschung wird durch über 3000 GRACE-bezogene Publikationen

und mehrere Beiträge zum IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Sachstandsbericht unterstrichen.

Neben den offiziellen Analysezentren der GRACE-Mission – dem „Center for Space Research (CSR)“, dem „Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ)“ und dem „Jet Propulsion Laboratory (JPL)“ – gibt es eine Reihe weiterer universitärer und außeruniversitärer Forschungseinrichtungen, welche die Daten der GRACE-Mission auswerten. Das Institut für Geodäsie der Technischen Universität Graz ist seit einigen Jahren eine dieser Einrichtungen und berechnet monatliche und tägliche Schwerefelder sowie hochaufgelöste statische Schwerefelder. Alle Daten sind frei verfügbar und können über die Homepage des Instituts (<http://ifg.tugraz.at>) heruntergeladen werden.

Für die Bestimmung dieser Schwerefeldlösungen sind hocheffiziente und zugeschnittene Algorithmen notwendig. Dies liegt zum einem an der großen Anzahl von Messungen und der Menge der daraus zu bestimmenden Schwerefeldkoeffizienten, zum anderen ist das Zusammenspiel der Instrumente sehr komplex und eine Vielzahl von internen und externen Einflüssen müssen modelliert werden. Dieser Artikel soll ein Überblick über die einzelnen Prozessierungsschritte von der Aufbereitung der Daten bis zur endgültigen Lösung am Institut für Geodäsie geben.

2. Prozessierungskette am Institut für Geodäsie

2.1 Aufbereitung der Instrumentendaten

Um hochgenaue Informationen über das Schwerefeld der Erde zu erfassen wurden die GRACE-Satelliten unter anderem mit Instrumenten zur Bestimmung ihrer absoluten Position, ihrer Orientierung im Raum sowie der relativen Distanz ausgestattet. Zusätzlich wurden nicht-konservative Kräfte wie Atmosphärenreibung, Strahlungsdruck der Sonne und der Erdalbedo durch Akzelerometer im Massenzentrum der Satelliten gemessen. Diese Messungen sind notwendig, um die Auswirkungen dieser Störkräfte vom Schwerefeldsignal zu trennen. Primär werden folgende Instrumente zur Schwerefeldbestimmung verwendet:

- K-Band-Mikrowelleninstrument (KBR): Misst die Abstandsänderungen der beiden Satelliten mit einer Genauigkeit unter einem Mikrometer pro Sekunde.
- Akzelerometer (ACC): Dies sind dreiachsige Beschleunigungsmesser im Massenzentrum der

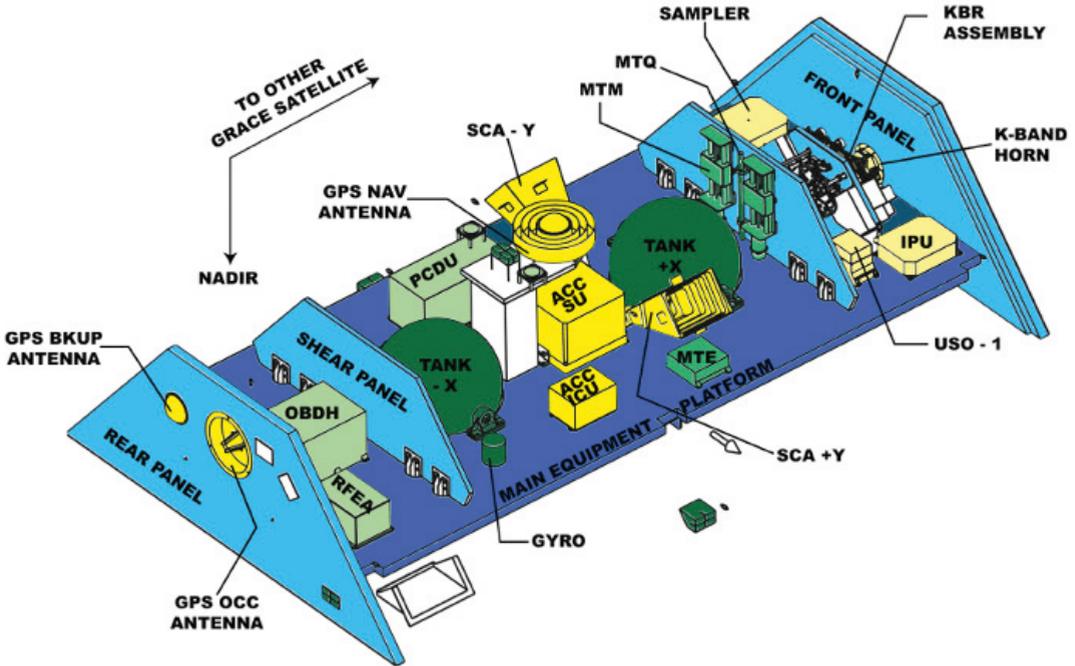


Abb. 2: Schematische Darstellung des Aufbaus eines GRACE Satelliten (Quelle: GRACE Launch Press Kit, https://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/gracelaunch.pdf)

Satelliten zur Bestimmung der nicht-gravitativen Kräfte. Sie messen zusätzlich Winkelbeschleunigungen um alle drei Drehachsen.

- Sternenkamerasystem (SCA): Bestimmt die Orientierung der Satelliten im Raum, indem mit CCD-Kameras aufgenommene Sternbilder mit intern gespeicherten Sternkarten verglichen werden.
- GPS-Empfänger (GPS): Mit Hilfe von Code- und Phasenmessungen zu den hochfliegenden GPS-Satelliten kann die Position der GRACE-Satelliten bestimmt werden.

Die Anordnung der einzelnen Komponenten im Satellitenkörper findet sich in Abbildung 2. Alle am Satelliten aufgezeichneten Messwerte wurden bei Überflügen der Empfangsstation des GFZ in Ny-Alesund heruntergeladen und vom JPL als sogenannte L1B-Datenprodukte öffentlich zur Verfügung gestellt. Um daraus Schwerfelder abzuleiten sind allerdings noch weitere Vorverarbeitungsschritte notwendig.

In einem ersten Schritt werden alle benötigten Daten zeitlich synchronisiert und grobe Ausreißer eliminiert. Zusätzlich werden Epochen um bestimmte Ereignisse, wie zum Beispiel Orbitmanö-

ver, von der weiteren Prozessierung ausgeschlossen.

Die Messungen des GPS-Empfängers (Code- und Phasenmessungen auf den beiden Frequenzen L1 und L2) werden verwendet um die Positionen der Satelliten zu bestimmen. Dabei wird das Verfahren des „Precise Point Positioning (PPP)“ angewendet, da es naturgemäß im Weltraum keine Referenzstationen gibt. Hierbei wird die Bahn kinematisch, das heißt ohne Verwendung von Kräftenmodellen, bestimmt. Das Ergebnis ist eine Zeitreihe von rein geometrisch abgeleiteten Absolutpositionen beider Satelliten, welche als Beobachtungen in die Schwerfeldbestimmung eingeführt werden. Um die Genauigkeit der Orbits zu erhöhen wurden neben Position, Empfängeruhrenfehler und Ionosphärenparametern auch Phasenzentrumsvariationen der Antennen beider Satelliten für alle beobachteten Signale bestimmt [2] [3]. Beispielhaft sind diese für GRACE A in Abbildung 3 dargestellt.

Wie zu erkennen ist, sind die Antennen-zentrumsvariationen im Zentimeterbereich für Phasenbeobachtungen und im Dezimeterbereich für Codebeobachtungen. Um also hochgenaue Positionsbestimmung zu betreiben, müssen diese

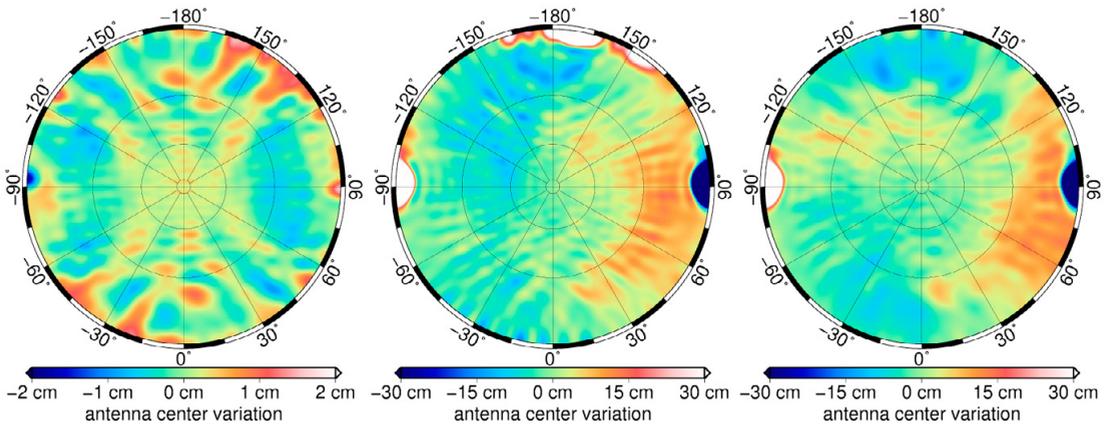


Abb. 3: Antennenzentrumsvariationen für L1/L2 Phasennmessungen (links), P1 Codemessungen (mitte) und P2 Codemessungen für die Hauptantenne auf GRACE-A

Systematiken unbedingt berücksichtigt werden. Vergleiche mit dynamischen Orbits, welche ein vollständiges Kräftemodell enthalten, zeigen eine Genauigkeit der bestimmten Positionen im Bereich von wenigen Zentimetern.

In [4] wurde gezeigt, dass die Qualität GRA-CE-basierter Schwerfeldlösungen durch ein verbessertes Orientierungsprodukt gesteigert werden kann. Dieses Produkt ist das Ergebnis eines Sensor-Fusion-Algorithmus, welcher Informationen aus zwei verschiedenen Messsystemen kombiniert: Zum einen die von den Sternenkameras beobachteten absoluten Orientierungen, welche im langwelligen Bereich sehr stabil sind, und zum anderen die vom Beschleunigungsmesser der Satelliten bestimmten Winkelbeschleunigungen, welche im kurzwelligen Bereich präziser sind. Diese Beobachtungen werden durch einen gewichteten Ausgleich nach kleinsten Quadraten kombiniert, welcher im gesamten Frequenzband optimale Orientierungsparameter liefert. Eine

solche Sensor-Fusion wird unabhängig für beide Satelliten durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Auswirkung der Sensor-Fusion auf die Satellitenorientierung als Leistungsdichtespektrum der Pitch-Komponente.

Wie zu erkennen ist, stützen die Akzelerometerbeobachtungen die Sternenkamerasbeobachtungen im Frequenzband ab 4 Millihertz, was zu einer deutlichen Reduzierung des Rauschens gegenüber den unkombinierten Messungen führt. Da die Orientierung der Satelliten benötigt wird, um die Antennenzentren des K-Band-Mikrowellensystems in die Verbindungslinie der Massenzentren zu projizieren, hat die verbesserte Orientierung auch direkte Auswirkungen auf die Qualität der Messungen der Relativgeschwindigkeit beider Satelliten.

2.2 Referenzorbit

Das Gravitationsfeld wird aus den Messungen im Rahmen eines Ausgleichs nach kleinsten Quadraten bestimmt. Der funktionale Zusammenhang zwischen den Messungen und dem unbekanntem Gravitationsfeld – die Beobachtungsgleichungen – ist nicht linear und muss daher linearisiert werden. Die hierfür benötigten Näherungswerte werden aus Referenzbahnen der Satelliten berechnet.

Aus der Newtonschen Bewegungsgleichung (Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung)

$$F=ma,$$

werden aus bekannten Kräften, die auf den Satelliten wirken, durch zweimalige Integration diese Referenzbahnen berechnet. Dabei müssen für eine höchstmögliche Genauigkeit alle bekannten Einflüsse modelliert werden. Für die Lösungen an

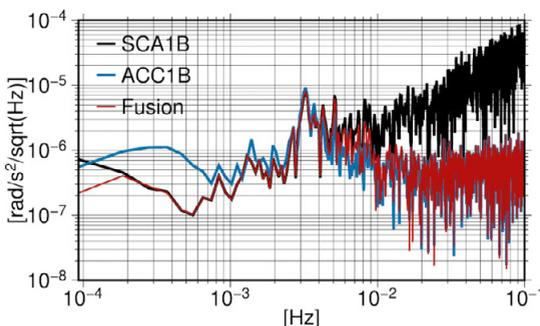


Abb. 4: Winkelbeschleunigungen um die Pitch-Achse von GRACE-A, aus Sternenkamera (schwarz), Akzelerometer (blau) und Sensor-Fusion Ansatz (rot)

der TU Graz werden zurzeit folgenden Modelle verwendet:

- Statisches Schwerefeld der Erde (GOCO05s, [5])
- Jährliche Variationen und langfristiger Trend des Schwerefeldes (GOCO05s, [5])
- Direkte Gezeitenkräfte von Sonne, Mond und Planeten (JPL DE401)
- Gezeiten der festen Erde (IERS 2010, [6])
- Ozeangezeiten (EOT11a, [7])
- Atmosphärengezeiten [8]
- Weitere Massenbewegungen in der Atmosphäre und im Ozean (AOD1B, [9])
- Polgezeiten: Massenverlagerungen in der Erde aufgrund von Schwankungen in der Erdrotation und damit verbundene Änderung der Zentrifugalkraft (IERS 2010)
- Ozeanpolgezeiten: wie oben nur bezogen auf Ozeanwassermassen [10]
- Nicht-gravitative Kräfte wie Restreibung der Atmosphäre, Strahlungsdruck der Sonne und Erdalbedo. Diese Kräfte werden nicht modelliert, sondern direkt mit Hilfe der Beschleunigungsmesser an Bord der Satelliten gemessen
- Relativistische Effekte: Abweichungen in der Theorie der Newtonschen Mechanik zur allgemeinen Relativitätstheorie [6]

Die Daten der Beschleunigungsmesser enthalten noch unbekannte Skalierungsfaktoren und zeitvariable Abweichungen (Bias und Drift), die später im Ausgleich als unbekannte Parameter mitgeschätzt werden müssen. Neben den Hintergrundmodellen ist die numerische Integration der Kräftefunktion entscheidend für die Qualität des Referenzorbits. Um numerische Fehler zu minimieren wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches es erlaubt die Satellitenbahn am Niveau der Maschinengenauigkeit zu integrieren [11].

2.3 Ausgleich

Um aus den gemessenen Relativgeschwindigkeiten und den Positionen der kinematischen Bahnbestimmung ein Schwerefeld zu berechnen wird ein linearisiertes Gleichungssystem aufgestellt, das die Beobachtungen mit den unbekanntem Schwerefeldkoeffizienten verknüpft. Die Messungen werden dazu in einem Beobachtungsvektor l zusammengefasst und die Koeffizientenmatrix A ergibt sich aus den Ableitungen des Kräftemodells des Referenzorbits nach den unbekanntem Schwerefeldkoeffizienten. Aufgrund der Linearisierung

werden die Beobachtungen um Werte aus den gerechneten Referenzorbits reduziert. Schließlich wird das überbestimmte Gleichungssystem nach der Methode der kleinsten Quadrate (z.B. [11]) gelöst.

In einer GRACE-Monatslösung werden ca. 500.000 gemessene Relativgeschwindigkeiten und 9.000 Orbitpositionen als Beobachtungen verwendet. Der Parametervektor x enthält ungefähr 14.600 Schwerefeldparameter als Koeffizienten einer Kugelfunktionsreihe sowie ca. 2.500 zusätzliche Kalibrierungsparameter. Diese umfassen den Satellitenzustand (Startposition und Geschwindigkeit pro Tag), Akzelerometerskalierungsfaktoren und -offsets, sowie Antennenzen-trumskorrekturen.

Die Koeffizientenmatrix A des resultierenden Gleichungssystems hat eine Größe von ca. 70 GB und übersteigt damit die Arbeitsspeicherkapazitäten normaler Arbeitsplatzcomputer. Um das ganze System in annehmbarer Zeit lösen zu können ist am Institut eine Software entwickelt worden, die das Gleichungssystem parallel auf mehreren Prozessoren löst.

2.4 Stochastisches Modell

Für eine genaue Bestimmung des Schwerefeldes ist die relative Gewichtung der Beobachtungen, dargestellt durch die Gewichtsmatrix P , sehr wichtig. Da die hierfür benötigten Messgenauigkeiten der Instrumente nicht genau genug bekannt sind und sich diese auch im Laufe der Zeit ändern, wurde ein automatisiertes, iteratives Verfahren basierend auf der Varianzkomponentenschätzung (z.B. [11]) entwickelt. Die Kovarianzmatrix der Beobachtungen wird dabei für jeden Monat als stationärer Prozess angesetzt und lässt sich folglich durch dessen spektrale Leistungsdichte beschreiben. Die Energie in den einzelnen Frequenzen werden dann als Varianzkomponenten im Ausgleich mitgeschätzt. In der Regel konvergiert das Verfahren nach drei bis vier Schritten, auch wenn als Startwert weißes Rauschen angenommen wird. In Abbildung 5 wird das Ergebnis der Varianzkomponentenschätzung eines Monats für die Beobachtungsgröße „Relativgeschwindigkeiten“ gezeigt.

Deutlich zu erkennen ist das durch die Integration der Akzelerometerbeobachtungen entstehende, zur Frequenz f invers-proportionale Rauschverhalten im langwelligen Spektrum, sowie das durch die Differentiation des relativen Abstands zu f proportionale Rauschen im hochfrequenten

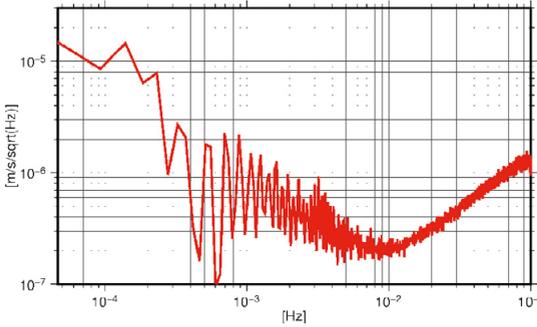


Abb. 5: Leistungsdichtespektrum der Relativgeschwindigkeiten für Mai 2008

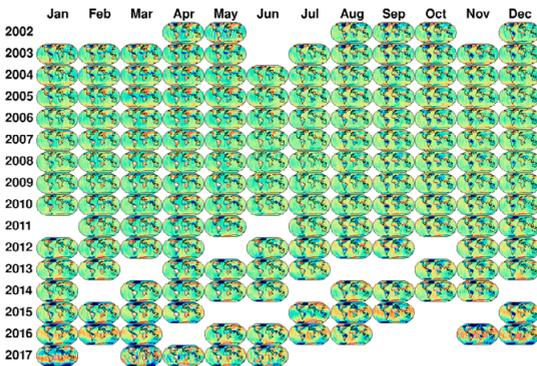


Abb. 6: Mosaik aller GRACE Monatslösungen

Bereich. Zusätzlich sind Vielfache der Orbitperiode von ca. 5.400 Sekunden zu erkennen, die auf zeitlich hochfrequente geophysikalische Prozesse zurückzuführen sind. Durch die Bestimmung des stochastischen Modells aller Beobachtungsgruppen lassen sich diese nicht nur einfach kombinieren, es entsteht dadurch auch eine realistische geschätzte Kovarianzmatrix der ausgeglichenen Parameter. Diese realistischen „formalen Fehler“ sind zurzeit ein Alleinstellungsmerkmal der Lösungen aus Graz und erlauben einfache Kombination mit komplementären Daten.

3. Ausgewählte Ergebnisse

Für den gesamten Zeitraum der GRACE-Mission von 2002 bis 2017 konnten 161 unabhängige Monatslösungen bestimmt werden. Bis Ende 2010 ist diese Zeitreihe nahezu vollständig, danach machte sich das Alter der Satelliten, insbesondere der Batterien, bemerkbar und es entstanden regelmäßig Zeiträume ohne ausreichend Messungen (vgl. Abbildung 6).

Die abgeleiteten Monatslösungen wurden u.a. im Rahmen der ESA Climate Change Initiative (CCI)

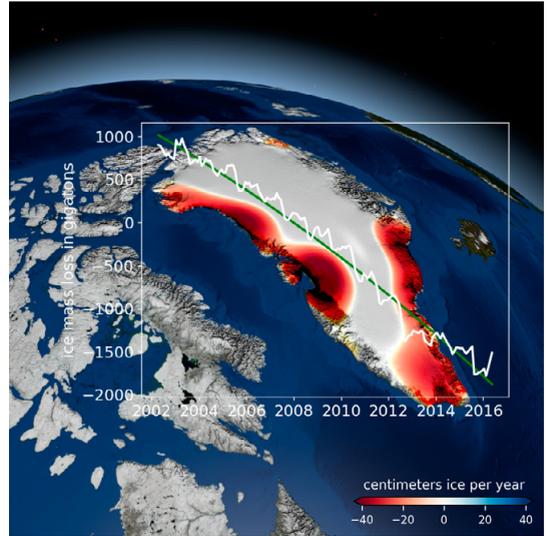


Abb. 7: Massenbilanz des Grönländischen Eisschildes über den GRACE Zeitraum

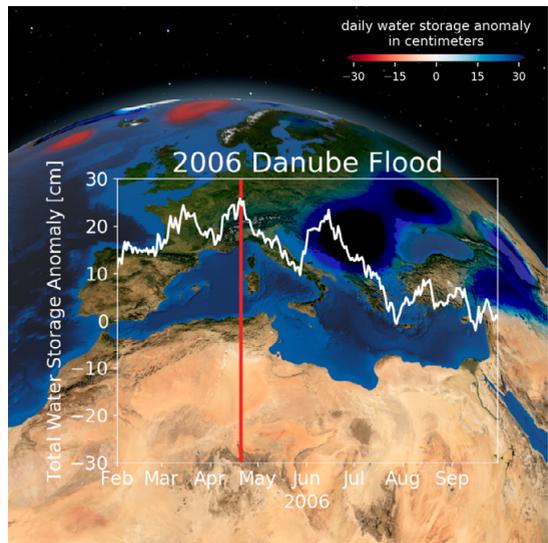


Abb. 8: Zeitreihe der täglichen GRACE Lösungen während des Donauhochwassers 2006

verwendet, um Massenbilanzen des Eisschildes in der Antarktis und in Grönland (siehe Abbildung 7), zu bestimmen [12].

Neben den Monatslösungen veröffentlicht das Institut für Geodäsie auch tägliche Schwerefeldvariationen, die zum Beispiel zur Untersuchung von Hochwasserereignissen herangezogen werden (z.B. [13], schematische Darstellung in Abbildung 8).

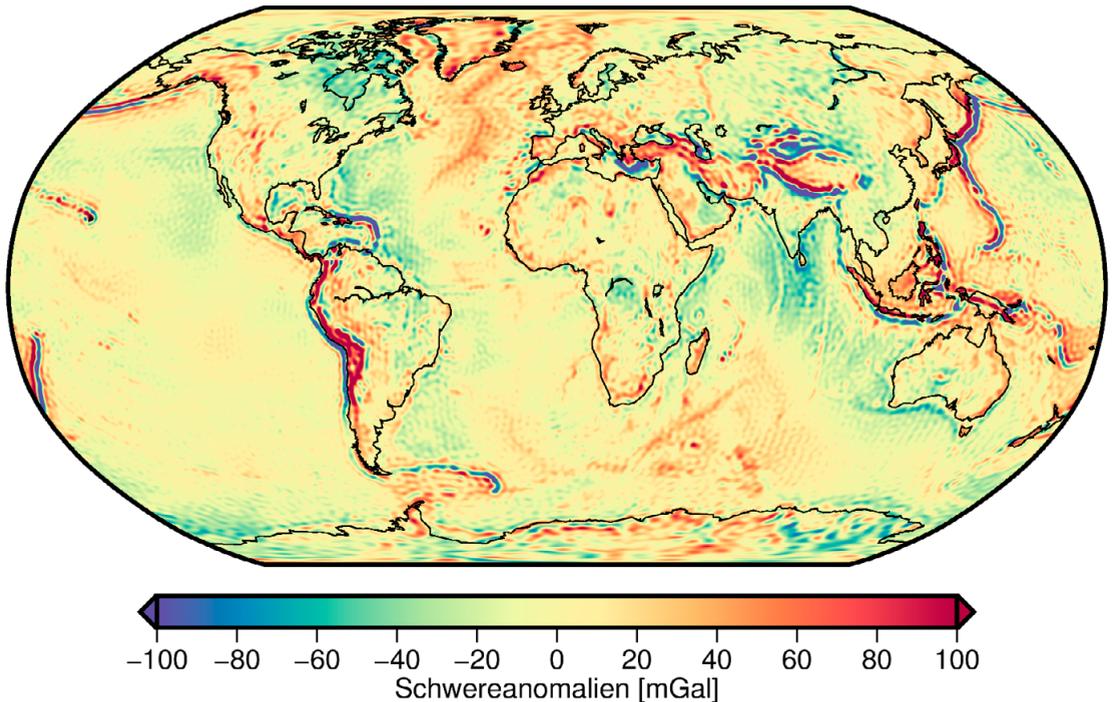


Abb. 9: Schwereanomalien aus dem hochauflösenden statischen Feld ITSG-Grace2014s

Ein hochauflösendes statisches GRACE-Schwerefeld ITSG-Grace2014s [14] wurde in Kombination mit GOCE und anderen Satellitenmissionen als GOCO05s [6] veröffentlicht (Abbildung 9).

4. Zusammenfassung

Das spezielle Messprinzip der GRACE-Mission, die hochgenaue Beobachtung der Abstandsänderung zwischen zwei Satelliten, machte es zum ersten Mal möglich, Massenänderungen auf und über der Erdoberfläche zu beobachten. Die Bedeutung der Mission für das Klimamonitoring wird durch mehrere Beiträge zum IPCC-Sachstandsbericht sowie der erfolgreichen Fortsetzung durch die Nachfolgemission GRACE-FO unterstrichen.

Das Institut für Geodäsie an der TU Graz wertet seit einigen Jahren Daten der GRACE-Mission aus und stellt sie allen interessierten Anwendern in Form von Schwerefeldlösungen frei zur Verfügung. Es wird permanent im internationalen Austausch daran gearbeitet, die Qualität der Lösungen zu verbessern, indem versucht wird, das komplexe Zusammenspiel der unterschiedlichen Instrumente untereinander und die Interaktion mit der Umgebung besser zu verstehen sowie neue Methoden zur Auswertung zu entwickeln. Dieser

internationale Austausch führte unter anderem zur Gründung des COST-G-Services der International Association of Geodesy (IAG), welches zum Ziel hat, durch Kombination von unterschiedlichen GRACE-Lösungen, ein konsolidiertes Schwereprodukt für die wissenschaftliche Gemeinschaft bereitzustellen.

Die Schwerefeldlösungen des Instituts für Geodäsie sind zusammen mit weiteren Hintergrunddaten und einer kurzen Dokumentation frei verfügbar auf der Webseite des Instituts (ifg.tugraz.at/downloads/gravity-field-models/itsg-grace2016) zu finden. Zusätzlich sind die Daten auch über das International Centre for Global Earth Models (ICGEM, icgem.gfz-potsdam.de) und über den EGSIM Plotter (plot.egsiem.eu) verfügbar, wo sie interaktiv mit anderen Zentren verglichen werden können.

Referenzen

- [1] Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M. and Reigber, C. (2004), *The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results*, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09607, doi: 10.1029/2004GL019920.
- [2] Zehentner, N. & Mayer-Gürr T. (2016), *Precise orbit determination based on raw GPS measurements*, *J Geod* (2016) 90: 275. <https://doi.org/10.1007/s00190-015-0872-7>

- [3] Zehentner, N., Mayer-Gürr, T. (2014), *Gravity, geoid and height systems*. In: International association of geodesy symposia, vol 141. Springer, New York. doi: 10.1007/978-3-319-10837-7.
- [4] Klinger, Beate and Mayer-Gürr, Torsten (2016). "The Role of Accelerometer Data Calibration within GRACE Gravity Field Recovery: Results from ITSG-Grace2016." In: *Advances in Space Research* 58.9, pp. 1597–1609. doi: 10.1016/j.asr.2016.08.007.
- [5] Mayer-Gürr, T., Pail, R., Gruber, T., Fecher, T., Rexer, M., Schuh, W.-D., Kusche, J., Brockmann, J.-M., Rieser, D., Zehentner, N., Kvas, A., Klinger, B., Baur, O., Höck, E., Krauss, S., and Jäggi, A. (2015), *The combined satellite gravity field model GOCO05s*. Presented at: EGU General Assembly 2015, Vienna, Austria. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-12364.
- [6] Petit, G. and Luzum, B., eds. (2010). *IERS Conventions. IERS Technical Note No. 36*. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 179 pp. ISBN : 3-89888-989-6.
- [7] Savcenko, R., Bosch, W., Dettmering, D. and Seitz, F. (2012), *EOT11a - Global Empirical Ocean Tide model from multi-mission satellite altimetry, with links to model results*. Supplement to: Savcenko, Roman; Bosch, Wolfgang (2012): EOT11a - Empirical Ocean Tide Model from Multi-Mission Satellite Altimetry. Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI), München, 89, 49 pp, hdl:10013/epic.43894.d001. DOI : 10.1594/PAN-GAEA.834232.
- [8] van Dam, T. and Ray, R., 2010, *Updated October 2010. S1 and S2 Atmospheric Tide Loading Effects for Geodetic Applications. Data set/Model accessed 2016-06-03 at <http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html>*.
- [9] Dobslaw, H., Flechtner, F., Bergmann-Wolf, I., Dahle, C., Dill, R., Esselborn, S., Sasgen, I., Thomas, M. (2013): Simulating high-frequency atmosphere-ocean mass variability for de-aliasing of satellite gravity observations: AOD1B RL05. - *Journal of Geophysical Research*, 118, 7, p. 3704-3711, doi.org/10.1002/jgrc.20271.
- [10] Desai, S. D., *Observing the pole tide with satellite altimetry*, *J. Geophys. Res.*, 107 (C11), 3186, doi:10.1029/2001JC001224, 2002.
- [11] Ellmer, M., & Mayer-Gürr, T. (2017): High precision dynamic orbit integration for spaceborne gravimetry in view of GRACE Follow-on. *Advances in space research*. DOI: 10.1016/j.asr.2017.04.015
- [12] Koch, K.-R. (1999): *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*. 2nd, updated and enlarged edition. Berlin Heidelberg: Springer. ISBN : 978-3-662-03976-2.
- [13] Horwath, M., Groh, A. (2016): ESA Antarctic Ice Sheet Climate Change Initiative (Antarctic_Ice_Sheet_cci): Gravimetric Mass Balance Basin products, v1.1. Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, 2018-06-10.
- [14] Gouweleeuw, B. T., Kvas, A., Gruber, C., Gain, A. K., Mayer-Gürr, T., Flechtner, F. and Güntner, A.: Daily GRACE gravity field solutions track major flood events in the Ganges–Brahmaputra Delta, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 2867–2880, <https://doi.org/10.5194/hess-22-2867-2018>, 2018.
- [15] Mayer-Gürr, T., Zehentner, N., Klinger, B., Kvas, A. (2014): ITSG-Grace2014: a new GRACE gravity field release computed in Graz. Presented at the GRACE Science Team Meeting (GSTM), Potsdam, 29.09.2014.

Anschrift der Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Torsten Mayer-Gürr, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: mayer-guerr@tugraz.at

Saniya Behzadpour MSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: behzadpour@tugraz.at

Dipl.-Ing. Matthias Ellmer, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: ellmer@tugraz.at

Dipl.-Ing. Beate Klinger, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: beate.klinger@tugraz.at

Dipl.-Ing. Andreas Kvas BSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: kvas@tugraz.at

Dipl.-Ing. Sebastian Strasser BSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: sebastian.strasser@tugraz.at

Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Zehentner, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, 8010 Graz.

E-Mail: zehentner@tugraz.at



Ioannis Giannopoulos, Wien

Pedestrian Navigation: What Can We Learn from Eye Tracking, Mixed Reality and Machine Learning

Was können wir aus Eye Tracking, Mixed Reality und Machine Learning lernen?

Abstract

Understanding how humans interact with their surroundings during spatial decision-making is crucial for the understanding of several processes, such as navigation. Furthermore, during spatial decision-making, humans also interact with spatial data often presented to them through a display device. Through eye tracking, mixed reality and machine learning we are able to come closer to an understanding, optimize the relevant interaction dialogues, classify relevant interaction spaces and assist humans during the process of spatial decision-making.

Keywords: Navigation, Eye Tracking, Mixed Reality, Machine Learning

Kurzfassung

Um verschiedene Prozesse wie zum Beispiel die Navigation zu verstehen, ist es entscheidend zu verstehen wie Menschen mit ihrer Umgebung während der Entscheidungsfindung interagieren. Während der räumlichen Entscheidungsfindung interagieren Menschen auch mit räumlichen Daten, die Ihnen oft über Display Geräte präsentiert werden. Mithilfe von Eye Tracking, Mixed Reality und Machine Learning sind wir in der Lage, ein besseres Verständnis und eine Optimierung der relevanten Interaktionsdialogen zu erzielen, relevante Interaktionsräume zu klassifizieren sowie Menschen während des Entscheidungsfindungsprozesses zu assistieren.

Schlüsselwörter: Navigation, Eye Tracking, Vermischte Realität, Maschinelles Lernen

1. Introduction

Human navigation is defined by Golledge [1] as the goal directed movement in space, in order to reach a predefined destination. According to Montello [2], navigation consists of two components, namely locomotion and wayfinding. During locomotion we make decisions in our direct surroundings, e.g., trying to avoid obstacles. During wayfinding we make a series of decisions, also incorporating survey knowledge, which eventually leads us to the desired destination.

Human navigation is an interdisciplinary research topic in the focus of several domains, ranging from Cognitive Psychology to Computer Science and Geoinformation. Human navigation provides a content rich testbed allowing answering many different kinds of research questions which can also easily be generalized to further domains. Researchers investigate the factors that lead to successful navigation in terms of efficiency, effectiveness, user experience, cognitive load, amongst others. These factors are not only user dependent, e.g., spatial abilities, but also environment related, e.g., decision points.

The research experiments in this domain are performed in the real environment, but also in lab settings. One of the advantages of experiments in the lab is the control over the experiment, being able to observe and understand where the effects are coming from. Although often claimed that there is a lack in external validity, studies have shown that lab experiments externalize quite well [3]. Furthermore, the advantages that a lab setting can offer are tremendous. Due to the technological advancements of the last decade, a lab can be equipped with several emerging technologies, e.g., eye tracking, body tracking, holographic-like interaction glasses, etc., allowing to observe and analyze the user behavior and interaction with space in more depth. Although some of these technologies can also be utilized for experiments in outdoor environments, there are trade-offs, e.g., sunlight interference is a problem when performing experiments using a mobile eye tracking device [4]

Many researchers have split the relevant research parts in order to make them more manageable and have also proposed classifications and models in order to provide formalisms. Jan Wiener et al. [5] proposed in their work a taxonomy of

wayfinding tasks, classifying wayfinding in aided and unaided. Kiefer et al. [6] proposed a wayfinding grammar as a mean to cover and describe the wayfinding processes in a formal yet modular way. Giannopoulos et al. [7] characterized the relevant space by introducing three components,

- 1) „the space the user interacts in (i.e., the position of the user)”,
- 2) „the spatial information the user interacts with (e.g., the information on the map)” and
- 3) „the space the user interacts with (i.e., the objects in the environment)”. In the present work we focus on aided wayfinding as well as the spatial information and the space the user interacts with.

In the following sections a brief overview will be given concerning the factors that constitute to the complexity of wayfinding, the current research directions and how open issues are currently addressed. Furthermore, eye tracking, mixed reality and machine learning will be discussed in order to emphasize the benefits that can arise through them when doing research in navigation.

2. Wayfinding Complexity

While navigating in unfamiliar environments, we often make use of assistance aids, either of traditional cartographic paper maps or of emerging mobile technologies, visualizing the instructions on a screen. During wayfinding we try to interpret and match these instructions to the surrounding environment, e.g., while approaching a decision point. This process already highlights three factors that are immediately essential for the success of this matching task, namely, the complexity of the surrounding environment, the complexity of the given instruction and of course, the abilities of the user that has to perform these actions. Giannopoulos et al. [8] call this a *Wayfinding Decision Situation*: „A wayfinding decision situation occurs when a specific wayfinder has to make a wayfinding decision in a certain environment with a certain instruction.” In their work, they provided the first model to approximate the complexity of a decision situation (see Equation 1) by integrating the complexity of the environments in terms of branches that are possible to be chosen at a decision point, the complexity of the instructions at hand, as well as based on the spatial abilities of the wayfinder. The wayfinder has to interpret the instructions, match them into the environment and finally, make a decision.

$$c(e, t_i, U) = c(e) \oplus c(t_i) \oplus f(U) \Rightarrow$$

$$c(e, t_i, U) = w_1 * \#br +$$

$$+ w_2 * (\beta * adv_{vis} + (1 - \beta) * lm) +$$

$$+ w_3 * sa$$

sa: spatial abilities, *br*: number of branches,
adv_{vis}: advance visibility and *lm*: landmark matching

$$c(e, t_i, U) \in [0, 1]$$

Equation 1: The Wayfinding Decision Situation Complexity model defined by Giannopoulos et al. [8]

Each of the three factors integrated in the above model has an impact on the wayfinding complexity. It is important to understand that the easier the interaction between the user and the surrounding environment and the instructions at hand, the lower the complexity [8]. According to Stephan Winter [9] and his introduced measure for advance visibility, the wayfinding complexity increases the longer it takes to see the landmark used in an instruction. Furthermore, Giannopoulos et al. [10] demonstrated that the timing of the instructions also has an impact on the complexity. According to their research, the optimal timing of instructions is also strongly dependent on the wayfinding situation. In their work they introduced a formal model based on a survival analysis, modeling the optimal timing using an *Accelerated Failure Time (AFT)* model. By using the estimated parameters of the model and filling in the input parameters, e.g., age of the user, type of decision point, etc., a probability distribution is computed which can be utilized to assess the optimal timing of an instruction for a specific wayfinding situation.

Current research tries to optimize human navigation by optimizing the complexity of a wayfinding decision situation, either focusing on understanding the strategies wayfinders apply in order to make a decision, or by optimizing the interaction dialogue between the wayfinder, the aid and the environment, amongst other approaches.

3. Human Computer Interaction in Navigation

One branch of current research focuses on optimizing the interaction with the assistance aid in order to outsource the complexity to the processing unit of the device. Several approaches have been evaluated through empirical experiments focusing mostly on optimizing the navigation time, i.e., the time to reach the desired destination from the origin, as well as spatial knowledge acquisition, i.e., learning the environment. Next to this, there is also a focus on user experience and in reducing the cognitive load during decision making. For

instance, Giannopoulos et al. [11] introduced the *GazeNav* concept, a gaze-based pedestrian navigation assistance system, focusing on reducing the navigation errors by minimizing the necessary interaction with the environment. Another approach was introduced by Gkonos et al. [12] and Pielot et al. [13] focusing on vibrotactile interaction, providing the navigation instructions through vibrations on a custom developed waist belt. Both approaches, the gaze-based and vibrotactile approach are based on non-visual navigation, i.e., they do not require that the user reads the instructions from a screen. There are of course also several visual-based approaches which on their part focus on optimizing the interaction with the mobile screen, e.g., to optimally obtain and understand the provided instructions. Giannopoulos et al. [14] introduced in their work the *GeoGazemarks* concept, a gaze-based interaction that allows to keep marks of the orientation on mobile maps. Another very successful approach that is followed in order to provide navigation assistance focuses on optimizing the interaction with the surrounding environment. Anagnostopoulos et al. [15] introduced in their work the gaze-informed Location Based Services. The user is able to obtain information by just gazing at elements of the environment. For instance, while looking at a specific building the user could obtain information that could help them reach the desired destination.

4. Eye Tracking in Navigation

Navigation requires that the wayfinder interacts with the surrounding environment and collects information that will be included into the decision-making process. While humans acquire this information through multiple senses, the visual sense is of great importance [16]. As addressed by Kiefer et al. [16], the main reasons why eye tracking can be very beneficiary for navigation research are the following:

- 1) *the majority of today's wayfinding aids are based on visual interaction*
- 2) *visual attention can easily be measured (which is not the case for other senses)*
- 3) *the information acquisition process can be measured*

Eye tracking technology exists already for several decades, with research in the 60s' already focusing on what our eye movements can reveal. For instance, Yarbus [17] in his research showed that eye movements are task dependent, a finding

that inspired recent research to focus on activity recognition based solely on eye movements. Kiefer et al. [18] captured eye movements of participants during map reading tasks and used them in order to classify and automatically detect the map reading tasks while they occur.

Eye tracking is no longer only remote, but also mobile. The typical eye tracking technology, i.e., remote eye tracking, is mostly fixed under a desktop monitor, allowing to perform experiments in a lab environment in front of a computer screen. Mobile eye tracking technology allows to perform experiments in the wild, allowing the participant to freely move while the gaze is recorded. Remote eye trackers have typically a higher precision, accuracy and recording frequency than mobile eye trackers, allowing to analyze eye movements more thoroughly. From the captured eye movements, the eye events fixations and saccades are computed and typically used for further analysis. Eye fixations occur when our eyes remain relatively still, which is the case when we obtain information. The rapid eye movements in between are the saccades.

Eye tracking technology is commonly used during navigation experiments in order to understand the process of wayfinding. According to Downs and Stea [19] the process of wayfinding can be split into four sequential and interrelated steps, namely, *orientation*, *route choice*, *route monitoring* and *recognition of the destination*. Kiefer et al. [4] utilized mobile eye tracking technology in order to investigate the process of self-localization. Through a user experiment, they were able to observe the strategies that were applied during self-localization and further distinguish some of the reasons that lead to incorrect localization. Unsuccessful participants were mostly focusing on elements on the map which were not visible from the experiment area. The proper choice of landmarks in a navigation instruction can therefore be of immense importance and is subject to research where eye tracking technology can provide helpful insights in understanding what is considered a landmark and which landmarks are appropriate for visual representation in assistant aids. For instance, Viaene et al. [20] focused on identifying the objects in the environment that can be categorized as landmarks. In their experiment they tracked the wayfinders gaze and proposed a gaze-based measure in order to classify objects as landmarks. Franke et al. [21] performed an eye tracking user study in order to identify the most ef-

fective ways to represent landmarks on maps and Ohm et al. [22] performed an eye tracking study in order to evaluate landmark-based interfaces for indoor navigation.

Navigation research is not limited to the outdoor urban environments, but focuses on indoor environments as well. Schnitzler et al. [23] utilized mobile eye tracking glasses and performed a user experiment in a large complex indoor environment in order to investigate how wayfinders use different navigation assistance aids in complex multi-level environments and Schrom-Feiertag et al. [24] performed an eye tracking evaluation of an indoor guidance system.

This brief overview of eye tracking research in navigation demonstrates some of the benefits that can arise when utilizing eye tracking. Eye tracking technology can be used to gain an understanding of the wayfinding processes and the user strategies in order to make decisions. Furthermore, eye tracking can also be utilized as an interaction

modality, enabling implicit and explicit interaction [25] with the environment and the assistance aid in order to optimize navigation.

5. Mixed Reality in Navigation

Due to recent technological advances in Mixed Reality, the functionalities and possible applications that can evolve become interesting for navigation research. Mixed Reality (MR) is constituted by the combination of two technologies, Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR). MR can be found in between these two worlds. According to Azuma [26] an MR application has to „combine real and virtual objects, to provide interactivity in real time and be registered in 3D“. Head-mounted displays are used for the implementation of the MR experience, allowing for a more realistic and immersive perception and interaction with the virtual objects [27] (see Figure 1). MR is already utilized for research in several research fields, ranging from hologram-like visualizations in MR for creative self-expression [28] to remote collaboration using virtual objects as spatial cues [29], [30].

For research in Navigation, MR gets specifically interesting for several reasons. During aided navigation, the information provided by the aid is displayed in two dimensions, although very often the information has three dimensions. This requires from the wayfinder to perform a mental rotation and understand the projected information in order to make sense of the third dimension, unnecessarily increasing the wayfinding complexity even more. In the MR domain, this information could be projected in the real environment in front of the user, easing the incorporation of this information in the decision-making process. In a similar manner, instructions, e.g., landmarks could directly be placed in the real environment, removing the necessity of relying on real environment landmarks.

Furthermore, MR allows to investigate in depth how humans interact with space, allowing to evaluate multiple instances of

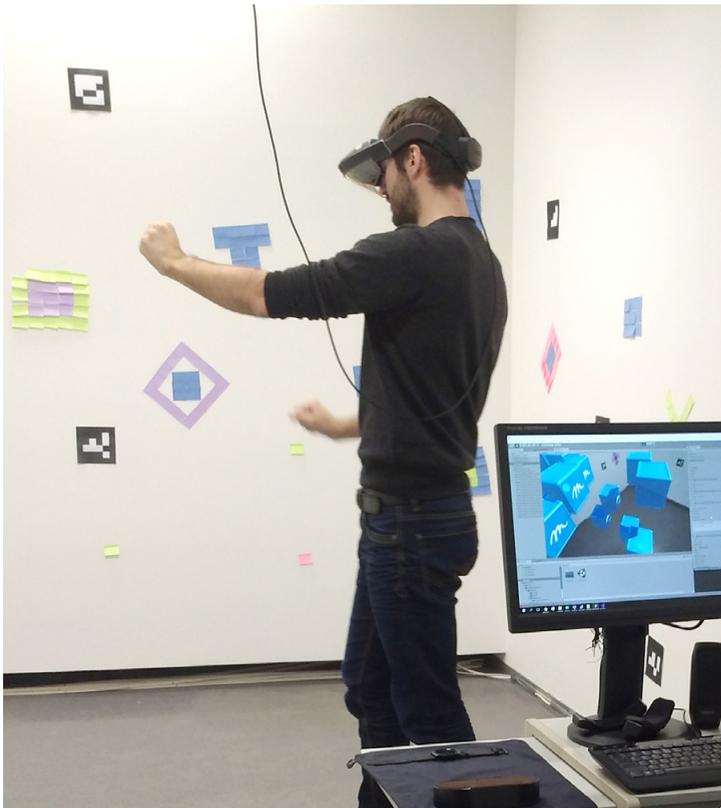


Fig. 1: A user interacting with spatial objects in a Mixed Reality Environment. Cubes are projected in front of the user providing a holographic-like experience, allowing to move around the projection.

spatial elements easily, by simply changing the 3D visualization. For instance, MR can allow to verify theories concerning elements of an urban environment that can be useful in order to ease the wayfinding process. These elements do not have to be already incorporated in the environment, they can simply be projected, making the experimental process faster, cheaper and even possible, not having to rely on the existing urban infrastructure.

6. Machine Learning in Navigation

Machine learning is defined as a computer program that can „learn from experience E with respect to some class of Tasks T and performance measure P , if its performance and tasks in T , as measured by P , improves with experience E ” [31, p. 2]. In navigation research, where a lot of the tasks are still difficult to clearly distinguish while they occur, machine learning can be very helpful. For instance, let's assume that the set of relevant Tasks T are the ones defined in the Introduction, namely orientation, route choice, route monitoring and recognition of destination. It would be very beneficiary if we could track down the sequence and frequency of these interrelated steps. For instance, we could look at the results of the algorithm and observe when and how often these steps occurred and perform even more targeted analyses, being able to interpret the experimental observations with respect to the user activity (e.g., the user was gazing at these specific elements during orientation). Liao et al. [32] applied machine learning in their work using eye tracking data in order to classify typical navigation tasks in the real environment. Kiefer et al. [18] applied machine learning on eye movement data of users interacting with a map in order to recognize user activities on cartographic maps, such as route planning. The results look very promising, supporting even more the above case.

Machine learning can be useful for several stages of the wayfinding process. For instance, identifying the familiarity level of the user with the environment can be very beneficiary for an assistance system which in turn can adapt according to this information. Machine learning and eye tracking can also be utilized to detect the cognitive load of wayfinders. Duchowski et al. [33] termed the Index of Pupillary Activity, is shown to discriminate task difficulty vis-à-vis cognitive load (if the implied causality can be assumed utilized

in their work eye pupil data in order to detect the user's cognitive load level.

7. Conclusions

Past and current research in navigation has already successfully demonstrated how technologies such as eye tracking can help understanding the processes involved. This work tried to highlight the benefits that can arise from this and other technologies in navigation research and provide examples where eye tracking, mixed reality and machine learning could help to get deeper insights or even make it possible to perform research in environments that do not yet exist in reality.

References

- [1] R. G. Golledge, "Human wayfinding and cognitive maps," in *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, R. G. Golledge, Ed. Baltimore, MA: Johns Hopkins University Press, 1999, pp. 5–45.
- [2] D. R. Montello, "Navigation.," in *Cambridge handbook of visuospatial thinking.*, 2005, pp. 257–294.
- [3] C. A. Anderson, J. J. Lindsay, and B. J. Bushman, "Research in the Psychological Laboratory: Truth or Triviality?," *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 3–9, 1999.
- [4] P. Kiefer, I. Giannopoulos, and M. Raubal, "Where Am I? Investigating Map Matching During Self-Localization With Mobile Eye Tracking in an Urban Environment," *Trans. GIS*, vol. 18, no. 5, pp. 660–686, 2013.
- [5] J. M. Wiener, S. J. Büchner, and C. Hölscher, "Taxonomy of human wayfinding tasks: A knowledge-based approach," *Spat. Cogn. Comput.*, vol. 9, no. 2, pp. 152–165, 2009.
- [6] P. Kiefer, S. Scheider, I. Giannopoulos, and P. Weiser, *A wayfinding grammar based on reference system transformations*, vol. 9368. 2015.
- [7] I. Giannopoulos, P. Kiefer, and M. Raubal, "Mobile Outdoor Gaze-Based GeoHCI," in *GeoHCI Workshop at CHI 2013, 2013*, pp. 1--2.
- [8] I. Giannopoulos, P. Kiefer, M. Raubal, K. Richter, and T. Thrash, "Wayfinding Decision Situations : A Conceptual Model and Evaluation," in *Geographic Information Science*, 2014, pp. 221–234.
- [9] S. Winter, "Route Adaptive Selection of Salient Features," in *Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science*, 2003, vol. 2825, pp. 349–361.
- [10] I. Giannopoulos, D. Jonietz, M. Raubal, G. Sarlas, and L. Stähli, *Timing of pedestrian navigation instructions*, vol. 86. 2017.
- [11] I. Giannopoulos, P. Kiefer, and M. Raubal, "GazeNav: Gaze-Based Pedestrian Navigation," in *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, 2015, pp. 337–346.
- [12] C. Gkonos, I. Giannopoulos, and M. Raubal, "Maps, vibration or gaze? Comparison of novel navigation assistance in indoor and outdoor environments," *J. Locat. Based Serv.*, vol. 11, no. 1, 2017.

- [13] M. Pielot, B. Poppinga, W. Heuten, and S. Boll, "PocketNavigator : Studying Tactile Navigation Systems," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012, pp. 3131–3139.
- [14] I. Giannopoulos, P. Kiefer, and M. Raubal, "GeoGaze-marks: Providing gaze history for the orientation on small display maps," in *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction*, 2012, pp. 165–172.
- [15] V. Anagnostopoulos, M. Havlena, P. Kiefer, I. Giannopoulos, K. Schindler, and M. Raubal, "Gaze-Informed location-based services," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 31, no. 9, 2017.
- [16] P. Kiefer, I. Giannopoulos, M. Raubal, and A. Duchowski, "Eye tracking for spatial research: Cognition, computation, challenges," *Spat. Cogn. Comput.*, vol. 17, no. 1–2, 2017.
- [17] A. L. Yarbus, "Eye movements during perception of complex objects," in *Eye movements and vision*, S. US, Ed. Springer, 1967, pp. 171–211.
- [18] P. Kiefer, I. Giannopoulos, and M. Raubal, "Using eye movements to recognize activities on cartographic maps," in *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 2013, pp. 478–481.
- [19] M. R. Downs and D. Stea, "The World In The Head," in *Maps in Minds: Reflections on Cognitive Mapping*, Harper & Row, 1977, pp. 99–145.
- [20] P. Viaene, P. Vansteenkiste, M. Lenoir, A. De Wulf, and P. De Maeyer, "Examining the validity of the total dwell time of eye fixations to identify landmarks in a building," *J. Eye Mov. Res.*, 2016.
- [21] C. Franke and J. Schweikart, "Mental representation of landmarks on maps: Investigating cartographic visualization methods with eye tracking technology," *Spat. Cogn. Comput.*, 2017.
- [22] C. Ohm, M. Müller, and B. Ludwig, "Evaluating indoor pedestrian navigation interfaces using mobile eye tracking," *Spat. Cogn. Comput.*, 2017.
- [23] V. Schnitzler, I. Giannopoulos, C. Hölscher, and I. Barisic, "The Interplay of Pedestrian Navigation, Wayfinding Devices, and Environmental Features in Indoor Settings," in *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, 2016, pp. 85–93.
- [24] H. Schrom-Feiertag, V. Settgast, and S. Seer, "Evaluation of indoor guidance systems using eye tracking in an immersive virtual environment," *Spat. Cogn. Comput.*, 2017.
- [25] A. Schmidt, "Implicit human computer interaction through context," *Pers. Technol.*, vol. 4, no. 2–3, pp. 191–199, 2000.
- [26] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, 1997.
- [27] L.-H. Lee and P. Hui, "Interaction Methods for Smart Glasses," *ACM Comput. Surv.*, 2017.
- [28] J. Amores and J. Lanier, "HoloART: Painting with Holograms in Mixed Reality," in *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2017, pp. 421–424.
- [29] J. Müller, R. Rädle, and H. Reiterer, "Virtual Objects As Spatial Cues in Collaborative Mixed Reality Environments: How They Shape Communication Behavior and User Task Load," *Proc. 2016 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst.*, 2016.
- [30] J. Müller, R. Rädle, and H. Reiterer, "Remote Collaboration With Mixed Reality Displays: How Shared Virtual Landmarks Facilitate Spatial Referencing," in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*, 2017.
- [31] T. M. Mitchell, *Machine Learning*. 1997.
- [32] H. Liao, W. Dong, H. Huang, G. Gartner, and H. Liu, "Inferring user tasks in pedestrian navigation from eye movement data in real-world environments," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2018.
- [33] A. T. Duchowski, K. Krejtz, I. Krejtz, C. Biele, A. Niedzielska, P. Kiefer, M. Raubal, and I. Giannopoulos, "The Index of Pupillary Activity: Measuring Cognitive Load vis-à-vis Task Difficulty with Pupil Oscillation," in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 2018.

Contact

Prof. Dr. Ioannis Giannopoulos, Vienna University of Technology, Department of Geodesy and Geoinformation, Research Group Geoinformation, Gußhausstraße 27-29, A-1040, Vienna.

Email: igiannopoulos@geo.tuwien.ac.at



Recht und Gesetz

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

Berichtigung des Grenzkatasters, § 13 VermG

Eine Berichtigung nach § 13 Abs 1 VermG ist nicht nur dann zulässig ist, wenn die Einverleibung im Grenzkataster mit ihren Grundlagen nicht im Einklang steht (1. Fall des § 13 Abs. 1 VermG). Eine Berichtigung ist auch dann möglich, wenn die Einverleibung des Grenzkatasters fehlerhaft ist (2. Fall des § 13 Abs. 1 VermG). Dies ist etwa dann der Fall, wenn die die Grundlage der Einverleibung bildende Urkunde fehlerhaft ist.

(BVwG, 01.06.2018, W138 2183583-1)

Sachverhalt:

Mit Schreiben vom 06.06.2017 stellte der Beschwerdeführer als grundbücherlicher Eigentümer der Liegenschaft XXX den Antrag „auf Berichtigung der Grenze in den Stand vor der offensichtlichen fehlerhaften Vermessung“. Das Nachbargrundstück YYY sei in den Grenzkataster eingetragen und dieser zeige eine Grenzlinie zwischen den Koordinaten 9035 und 9036, welche innerhalb seines Gebäudes verlaufen würde. Das Haus des Beschwerdeführers bestehe schon seit 300 Jahren. Die historische Grenze verlaufe zwischen den Koordinaten 9064 und 9035 in gerader Linie, parallel zum Hausbestand des Beschwerdeführers. Der Beschwerdeführer bemängle, dass eine in den 60er -70er Jahren entstandene neue Grenzziehung, bei einem Gebäude, welches bereits 300 Jahre bestehe, eine Baurechtswidrigkeit auslöse.

Mit dem angefochtenen Bescheid wies das VermA den Antrag des Beschwerdeführers auf Berichtigung des Grenzkatasters ab. Das VermA führte dabei aus, dass die digitale Katastralmappe und der gegenständliche Teilungsplan VHW 14/1981 hinsichtlich des Grenzverlaufes zwischen den Grundstücken YYY und XXX übereinstimmen würden. Die Vermessungsurkunde aus 1979 sei somit korrekt in den Grenzkataster übernommen worden. Die Prüfung der inhaltlichen Richtigkeit der Vermessungsurkunde selbst, falle nicht in den Anwendungsbereich des § 13 VermG.

Gegen den Bescheid erhob der Beschwerdeführer Beschwerde und führte im Wesentlichen aus, dass insbesondere der Antrag auf Korrektur der Koordinate 9035 gestellt worden sei. Die belangte Behörde hätte durch Ortsaugenschein die Divergenz zwischen Natur und Grenzkataster feststellen und von Amts wegen eine Berichtigung vornehmen müssen. Der Beschwerdefüh-

rer führte weiters aus, dass im Jahr 1978 eine falsche Vermessung durchgeführt worden sei. Die Koordinate 9035 sei im Jahr 1978 willkürlich festgelegt und somit unrichtig in den Grenzkataster übernommen worden. Die Grenze hätte entsprechend dem Bestand des Bauobjektes festgelegt werden müssen.

Aus der rechtlichen Beurteilung des BVwG:

Dem vom VermA übermittelten Akt ist nicht zu entnehmen, dass bezüglich des gegenständlichen Antrages gemäß § 13 VermG Ermittlungsschritte dahingehend unternommen wurden, ob die Umwandlung des Grundstückes YYY fehlerhaft iSd § 13 Abs. 1 2. Fall VermG sein könnte. So wurde auch im Schreiben des VermA bestätigt, dass das VermA nicht in der Natur überprüft hat, ob die Koordinaten aus der Vermessungsurkunde aus 1978 dem Naturstand zum Vermessungszeitpunkt entsprachen. Die erforderlichen Ermittlungsschritte, um beurteilen zu können, ob die Voraussetzungen des § 13 Abs 1 2. Fall VermG gegeben waren oder nicht, wurden von der belangten Behörde gänzlich unterlassen. Das VermA hat in der Natur nicht überprüft, ob die Koordinaten der Punkte 9035, 9036, 9039, 9063 und 9064 mit dem Naturstand zum Zeitpunkt der Vermessung übereinstimmen und der Planverfasser die Koordinaten des Naturstandes korrekt erhoben hat.

Aus der Begründung des bekämpften Bescheides ergibt sich, dass die belangte Behörde offensichtlich davon ausging, dass eine Berichtigung nach § 13 Abs 1 VermG nur dann zulässig ist, wenn die Einverleibung im Grenzkataster mit ihren Grundlagen nicht im Einklang steht (1. Fall des § 13 Abs. 1 VermG). Nach dem Gesetzeswortlaut des § 13 Abs 1 VermG ist eine Berichtigung jedoch auch dann möglich, wenn die Einverleibung des Grenzkatasters fehlerhaft ist (2. Fall des § 13 Abs. 1 VermG). Dies ist etwa dann der Fall, wenn die die Grundlage der Einverleibung bildende Urkunde fehlerhaft ist (vgl. VwGH vom 21.10.2003, 2001/06/0166). Eine solche Konstellation kann im gegenständlichen Fall vorliegen, worauf die Ausführungen des Beschwerdeführers hindeuten.

Die belangte Behörde hat die notwendige Ermittlung des Sachverhaltes, nämlich die Abklärung, ob die Einverleibung des Grenzkatasters fehlerhaft ist (2. Fall des § 13 Abs. 1 VermG), gänzlich unterlassen, sodass das Bundesverwaltungsgericht den angefochtenen Bescheid aufhebt und die Angelegenheit zur Erlassung eines neuen Bescheides an die belangte Behörde zurückverweist.

Verbücherung von 2 m² Straßengrund

Aus OGH 5 Ob 187/17m vom 13.Feb.2018:

Mit Bescheid des Magistrats der Stadt Wien wurde die Abschreibung des Grundstücks 1384/18 vom Gutsbestand der EZ ***** KG ***** und dessen Übertragung in das öffentliche Gut genehmigt und vorgeschrieben, dass das Grundstück gleichzeitig mit der grundbücherlichen Durchführung dieses Bescheides lastenfrei in das öffentliche Gut zu übertragen ist. Weiters wurde bestätigt, dass für die in eine Einlage des öffentlichen Gutes abzuschreibende Grundfläche die Widmung zum Gemeingebrauch durch Verwaltungsakt festgesetzt worden sei.

Die Eigentümer der Liegenschaft EZ ***** KG ***** beantragten gemeinsam (!) mit der Stadt Wien die mit dem Bescheid genehmigte Ab- und Zuschreibung und die Löschung der EZ ***** KG ***** infolge Gutsbestandslosigkeit. Die Liegenschaft besteht (nur) aus dem Grundstück 1384/18 mit einer eingetragenen Gesamtfläche von 2 m² (!) und der Nutzung als „Sonstige (Straßenverkehrsanlagen)“.

Das Erstgericht sah im Bescheid keine grundbuchsfähige Urkunde und wies die beantragte Ab- und Zuschreibung ab. Das Rekursgericht stellte zwar fest, dass der Bescheid eine grundbuchsfähige öffentliche Urkunde sei, wies das Grundbuchsgesuch aber dennoch ab, weil „nach § 16 LiegTeilG zusätzlich zu dem Bescheid die Beurkundung des Vermessungsamtes erforderlich“ sei. Außerdem wäre eine Unbedenklichkeitsbescheinigung des Finanzamtes nach § 160 BAO erforderlich.

So musste der OGH mit den 2 m² Straße befasst werden. Nach umfangreicher rechtlicher Beurteilung kommt der OGH zu folgenden Feststellungen:

Der vorliegende, als Enteignungsbescheid zu qualifizierende Rechtsakt ist eine grundsätzlich taugliche Grundlage für die Einverleibung des Eigentumsrechts an dem abzuschreibenden und ins öffentliche Gut zu übertragenden Grundstück. Der urkundliche Beleg des Vollzugs der Enteignung ist nicht erforderlich, weil die Antragstellung zur grundbücherlichen Durchführung auch durch die Enteigneten selbst erfolgte.

Grundlage für die Grundstücksveränderung, deren grundbücherliche Durchführung die Antragsteller gemeinsam beantragten, ist der Bescheid des Magistrats der Stadt Wien und kein Verfahren nach §§ 15 ff LiegTeilG. Der Antrag ist daher nach den allgemeinen Regeln für die Verbücherung der beantragten Rechtsänderungen zu behandeln. Die vom Rekursgericht zusätzlich geforderte Beurkundung des Vermessungsamtes nach § 16 LiegTeilG ist dafür nicht erforderlich.

Nach § 11 des Grunderwerbsteuergesetzes sind Parteienvertreter befugt, die Steuer als Bevollmächtigte eines Steuerschuldners selbst zu berechnen. Im Elektronischen Rechtsverkehr erfolgt die Selbstberechnungserklärung durch Bekanntgabe einer Vorgangsnummer durch den Parteienvertreter. Das Grundbuchsgesuch enthält die Berufung auf eine Vorgangsnummer und damit eine wirksame, die erforderliche Unbedenklichkeitsbescheinigung ersetzende Selbstberechnungserklärung.

Das Grundbuchsgesuch war daher zur Gänze zu bewilligen.

Teilung im Eigenbesitz

Die Teilung eines Grundbuchskörpers und Neuerrichtung einer zweiten Einlagezahl desselben Eigentümers ist ohne wirtschaftliche Notwendigkeit unstatthaft.

Ein Teilungsplan darf nur zur Gänze grundbücherlich durchgeführt werden.

(OGH vom 18.07.2018, 5Ob96/18f)

Sachverhalt:

Die Antragsteller begehrten unter Vorlage von Teilungsplan, Planbescheinigung und mehrerer Schenkungsverträge neben sieben weiteren Ab- und Zuschreibungen auch die Abschreibung eines Trennstücks vom Grundstück des Zweit Antragstellers, die Eröffnung einer neuen Einlagezahl für das dadurch neu geschaffene Grundstück 1172/8 und die „Mitübertragung“ des Eigentums des Zweit Antragstellers zum neu zu schaffenden Grundbuchskörper.

Das Erstgericht wies das Begehren ua. deswegen ab, weil bei den Schenkungsverträgen die Unterschriften des Vertretungsbefugten nicht beglaubigt seien, die Schenkungsverträge (mangels wirklicher Übergabe) nicht in Notariatsform errichtet worden seien und die Abschreibung des Grundstücks 1172/8 „im Eigenbesitz“ erfolge, weil der Zweit Antragsteller auch Eigentümer der für die Zuschreibung dieses Grundstücks neu zu eröffnenden Einlagezahl bleiben solle.

Das Rekursgericht gab dem Rekurs der Antragsteller im Ergebnis nicht Folge. Nach der Rechtsprechung sei für Ab- und Zuschreibungen, die ohne Änderung der Eigentums- oder Belastungsverhältnisse erfolgten, ein rechtliches oder zumindest wirtschaftliches Interesse des Eigentümers erforderlich, das entsprechend nachgewiesen werden müsse. Eigentümer der neu zu eröffnenden Einlagezahl, der das Zielgrundstück 1172/8 zugeschrieben werden solle, solle der Zweit Antragsteller bleiben, sodass sich weder die Eigentums- noch Belastungsverhältnisse ändern würden; ein rechtliches oder

wirtschaftliches Interesse für diese Vorgangsweise sei nicht erkennbar.

Im Übrigen begründete das Rekursgericht ausführlich, warum die weiteren vom Erstgericht angenommenen Abweisungsgründe nicht vorlägen.

Rechtliche Beurteilung:

Die Antragsteller machen in ihrem Rechtsmittel – zusammengefasst – geltend, der von ihnen vorgelegte Teilungsplan wäre vom Grundbuchsgericht ohne inhaltliche Prüfung durchzuführen gewesen, und sprechen damit Fragen der Bindung an die von der Vermessungsbehörde gemäß § 39 VermG auszustellende Planbescheinigung an. Die übrigen vom Erstgericht herangezogenen Abweisungsgründe hat bereits das Rekursgericht mit zutreffender Begründung als nicht gegeben beurteilt.

Das Liegenschaftsteilungsgesetz regelt in seinen ersten beiden Abschnitten die Grundsätze der Grundstücksteilung und die Ab- und Zuschreibung von Bestandteilen eines Grundbuchskörpers. Nach § 1 Abs 1 LiegTeilG kann die grundbücherliche Teilung eines Grundstücks nur aufgrund eines Plans durchgeführt werden, der von einer der in Z 1 bis Z 4 dieser Bestimmung genannten Person oder Behörde herrührt. Eine Abschreibung, die immer mit einer Zuschreibung verbunden sein muss, erfordert, sofern Teile eines Grundstücks und nicht ein ganzes Grundstück betroffen sind, stets einen solchen Teilungsplan.

Nach § 2 Abs 1 LiegTeilG darf ein Teilungsplan nur zur Gänze grundbücherlich durchgeführt werden und in einem Grundbuchsgesuch nur die Durchführung eines Plans begehrt werden. Das Gesuch hat einen Hinweis auf die Speicherung des Plans und der Bescheinigung nach § 39 VermG im Geschäftsregister der Vermessungsbehörde zu enthalten (§ 2 Abs 2 LiegTeilG). Das soll sicherstellen, dass das Grundbuchsgericht über Grundstücksteilungen tatsächlich auf der Grundlage des von der Vermessungsbehörde nach § 39 VermG bescheinigten Plans entscheidet.

Der Teilungsplan und die auf ihn Bezug nehmende Bescheinigung nach § 39 VermG sind die Grundlagen für die grundbücherliche Durchführung einer Grundstücksteilung. Während die Vermessung und die Führung des Katasters in die Zuständigkeit der Vermessungsbehörde fallen, sind für die Grundbuchsangelegenheiten grundsätzlich die Grundbuchsgerichte zuständig. ...

Der grundbücherlichen Durchführung einer Liegenschaftsteilung geht daher ein „Planbescheinigungsverfahren“ vor dem Vermessungsamt voraus. In einem solchen Verfahren hat das Vermessungsamt aber lediglich zu prüfen, ob der ihm vorgelegte Teilungsplan die erforderlichen Angaben im Sinne der §§ 37 und 43 Abs 4 bis 6 VermG 1968 idGF enthält. Eine Prüfung des Plans in

materieller Hinsicht ist vom Vermessungsamt nicht vorzunehmen (VwGH Ra 2014/06/0005).

Nach ständiger Rechtsprechung ist eine Planbescheinigung nach § 39 VermG ein Bescheid einer Verwaltungsbehörde, der inhaltlich vom Gericht nicht überprüfbar ist (RIS Justiz RS0053871; vgl auch VwGH ZI 95/06/0012; Twaroch, Kataster- und Vermessungsrecht Anm 1 zu § 39 VermG; Binder in Kodek, Grundbuchrecht² § 2 LiegTeilG Rz 22 mwN). Als Bescheid entfaltet die Planbescheinigung Bindungswirkung. Dem Gericht ist die Prüfung der Frage entzogen, ob die zuständige Behörde bei Erlassung der Bescheinigung nach § 39 Abs 1 VermG die Voraussetzungen des § 39 Abs 3 VermG, insbesondere auch jene des § 37 VermG eingehalten hat. Daraus folgt jedoch entgegen der von den Revisionsrekurswerbern offenbar vertretenen Ansicht nicht, dass ein mit einer solchen Bescheinigung versehener Teilungsplan automatisch zu einer die begehrten bürgerlichen Eintragungen bewilligenden Entscheidung führen müsste. Die Beurteilung anderer, nicht im Verfahrensgegenstand des Planbescheinigungsverfahrens enthaltener Erfordernisse bleibt dem Grundbuchsgericht vorbehalten (vgl Binder aaO § 2 LiegTeilG Rz 2 und 21).

Um eine missbräuchliche, ungerechtfertigte Zerlegung von Grundbuchskörpern in zahllose kleine Grundbuchskörper zu verhindern, die unter anderem die Grundbuchsmanipulation erschwert und die Geltendmachung der bürgerlichen Rechte, etwa durch die Entstehung von Simultanhaftungen, ungünstig beeinflusst, ist nach herrschender Ansicht die Teilung eines Grundbuchskörpers in mehrere kleinere und Neueröffnung einer weiteren Einlagezahl desselben Eigentümers nur aus triftigen Gründen zulässig, so wenn Änderungen in den Eigentumsverhältnissen oder in der Belastung eintreten, die eine Abtrennung notwendig machen, oder wenn zumindest durch das wirtschaftliche Interesse des Eigentümers die Abschreibung gerechtfertigt ist (RIS-Justiz RS0017870; RS0066232; Rassi, Grundbuchrecht² Rz 510; Binder aaO § 3 LiegTeilG Rz 2). ...

Das Vorliegen der Voraussetzungen für die Bewilligung der begehrten Grundbuchshandlung ist von den Grundbuchsgerichten zu prüfen. Der Umstand, dass ein mit einer Planbescheinigung versehener Teilungsplan vorliegt, und die durch eine Gegenüberstellung der Pläne erstellte Trennstücktafel eine neue Einlagezahl für das Zielgrundstück vorsieht, können dieser Prüfkompetenz des Grundbuchs nicht entgegen gehalten werden.

Es trifft zu, dass dem nach dem Teilungsplan der neu zu eröffnenden Einlagezahl zuzuschreibenden Grundstück das Kürzel „SB1“ für „Sonst Straßen“ beigesetzt ist und damit wohl eine besondere Widmung dieses Trennstücks angesprochen ist. Allein darin kann jedoch noch kein die Teilung des Grundbuchskörpers

unter Beibehaltung der Eigentumsverhältnisse rechtefertiger Grund gesehen werden, zumal der Zusammenfassung unterschiedlich gewidmeter Grundstücke in einem Grundbuchskörper kein Hindernis entgegensteht. Zur Änderung von Grundstücksgrenzen innerhalb desselben Grundbuchkörpers braucht es weder eines Nachweises einer rechtlichen Notwendigkeit noch der Bescheinigung eines wirtschaftlichen Interesses des Eigentümers. Soweit die Revisionsrekurswerber jedoch geltend machen, dass das Teilstück (zukünftig) an das öffentliche Gut abgetreten werden soll, bietet allein die Absicht, den Verkauf eines Teils einer Liegenschaft (leichter) durchzuführen, noch keinen Anlass, die Teilung eines Grundbuchkörpers vorzunehmen, solange nicht um jene Eintragung eingeschritten wird, die die Teilung zur Voraussetzung hat. Nichts anderes kann für das Vorhaben gelten, einen Teil der Liegenschaft irgendwann an das öffentliche Gut abtreten zu wollen.

Anmerkung:

Da ein Teilungsplan nur zur Gänze grundbücherlich durchgeführt werden darf, wurden auch alle übrigen beantragten Ab- und Zuschreibungen nicht bewilligt und das Grundbuchsgesuch zur Gänze abgewiesen.

Verordnungen zum Vermessungsgesetz

I. Änderung der Vermessungsverordnung 2016

Mit 1. Oktober 2018 ist die Verordnung der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, mit der die Vermessungsverordnung 2016 geändert wird, BGBl. II Nr. 235/2018, in Kraft getreten.

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) bietet durch die Einrichtung einer neuen Applikation die zusätzliche Möglichkeit, Vermessungsurkunden in strukturierter Form (sogenannte strukturierte Urkunden) für den Katasteränderungsprozess zu übermitteln. Bei einem strukturierten Dokument handelt es sich um eine Urkunde im Format PDF, die Daten strukturiert für die Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt. Das strukturierte Dokument enthält vorgegebene Formularfelder mit definierten Feldnamen, in welche die zur späteren Übernahme in das Geschäftsregister bestimmten Inhalte einzutragen und zu speichern sind (§ 1 Z 26 VermV neu).

Den Vermessungsbefugten wird weiters die Möglichkeit geboten, strukturierte Dokumente vor dem Einbringen einer Vorprüfung zu unterziehen, um „formale“ Fehler automationsunterstützt zu identifizieren und vor dem Einbringen zu korrigieren. Dies verringert den Aufwand sowohl bei den Vermessungsbefugten als auch bei den Vermessungsämtern.

Mit der Novelle wurden die notwendigen rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung der automa-

tionsunterstützten Einbringung von Dokumenten in strukturierter Form geschaffen. In § 1 VermV wurde der Messpunkt neu definiert und Begriffsbestimmungen für „Anmerkungsgrund“, „Punkttyp“ und „Strukturiertes Dokument“ ergänzt. In § 15a VermV wurden Sonderbestimmungen für Anbringen mit strukturierten Dokumenten eingefügt.

Im Zeichenschlüssel (Anhang zur VermV) wurden zur Klarstellung bei einigen Überschriften, Zeichen und Anmerkungen Änderungen und Ergänzungen vorgenommen und der Anhang vollständig durch eine neue Version ersetzt.

II. Änderung der

Vermessungsgebührenverordnung 2016

Gleichzeitig mit der Änderung der Vermessungsverordnung ist auch die Verordnung, mit der die Vermessungsgebührenverordnung 2016 geändert wird, BGBl. II Nr. 236/2018, am 1. Oktober 2018 in Kraft getreten.

Für Anbringen, die auf automationsunterstütztem Weg und mit strukturierten Dokumenten eingebracht werden, kommt ein neuer Tarif C mit ermäßigten Beträgen zur Anwendung.

III. Vermessungsamts-Sprengel-Verordnung 2018

Die Sprengel der Vermessungsämter sind durch Aufzählung der zugehörigen politischen Gemeinden definiert. Damit werden die örtlichen Zuständigkeiten der Vermessungsämter im Sinne des § 1 AVG geregelt.

Auf Grund von Gemeindezusammenlegungen und Änderungen von Gemeindefürnamen war eine Neudefinition der Sprengel der Vermessungsämter erforderlich.

Die Verordnung der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über die Sprengel der Vermessungsämter 2018 (Vermessungsamts-Sprengel-Verordnung 2018 – VermA-Spr-V 2018), BGBl. II Nr. 234/2018, ersetzt die VermA-Spr-V 2015 und ist mit 6. September 2018 in Kraft getreten.

Drohnen; Europäische Luftfahrt-Grundverordnung

Die neue Europäische Luftfahrt-Grundverordnung (Basic-Regulation) ist im Amtsblatt der EU veröffentlicht und am 11. September 2018 in Kraft getreten.

Der vollständige Titel lautet: *Verordnung (EU) 2018/1139 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2018 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/2005, (EG) Nr.*

1008/2008, (EU) Nr. 996/2010, (EU) Nr. 376/2014 und der Richtlinien 2014/30/EU und 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/2004 und (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates.

Auf die Verordnung wird hier deswegen hingewiesen, weil sie EU-weite Vorschriften für zivile Drohnen aller Größen enthält. Da unbemannte Luftfahrzeuge im selben Luftraum wie bemannte Luftfahrzeuge eingesetzt werden, soll sich diese Verordnung auch auf unbemannte Luftfahrzeuge, unabhängig von deren Betriebsgewicht, beziehen. Die Technik für unbemannte Luftfahrzeuge ermöglicht mittlerweile ein großes Spektrum an Betriebsmöglichkeiten, für die Vorschriften gelten sollen, die in einem angemessenen Verhältnis zum Risiko des konkreten Betriebs oder der Betriebsart stehen (Erwägungsgrund 26).

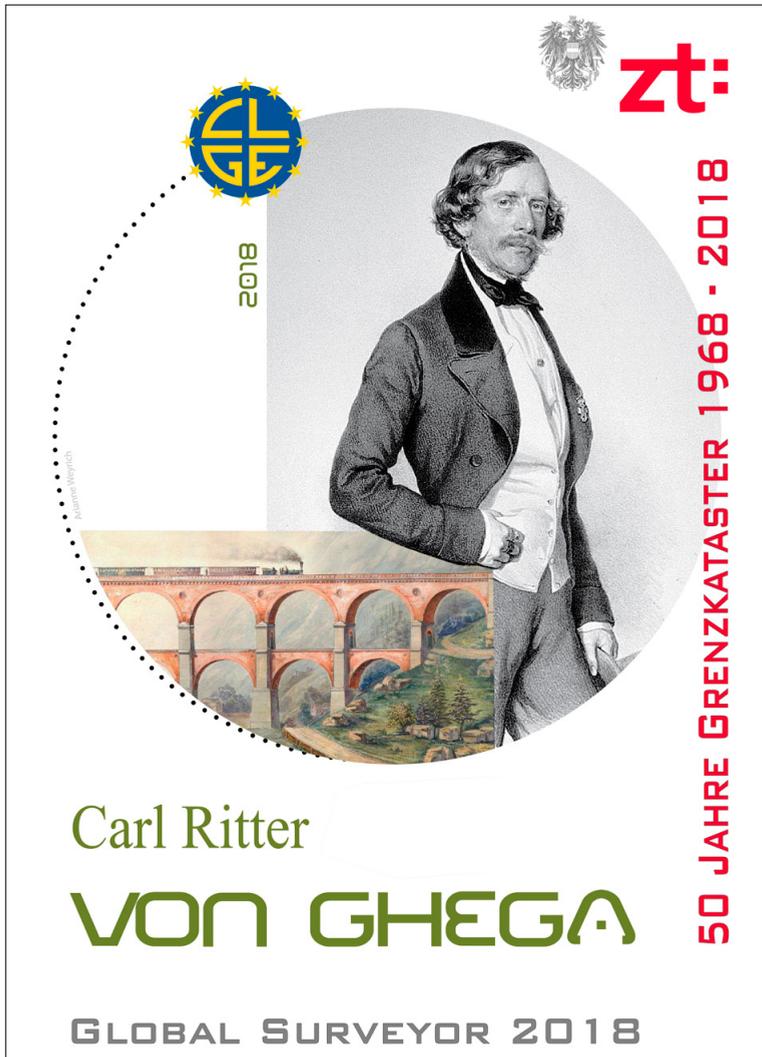
Die Vorschriften für unbemannte Luftfahrzeuge sollen dazu beitragen, dass die einschlägigen im Unionsrecht verankerten Rechte eingehalten werden, insbesondere das Recht auf Achtung des Privat- und Familienlebens

und das Recht auf den Schutz personenbezogener Daten (Erwägungsgrund 28).

Angesichts der Risiken, die unbemannte Luftfahrzeuge für die Sicherheit, die Privatsphäre, den Schutz personenbezogener Daten, die Gefahrenabwehr oder die Umwelt darstellen können, sollen Anforderungen in Bezug auf die Registrierung von unbemannten Luftfahrzeugen und von Betreibern unbemannter Luftfahrzeuge festgelegt werden. Es ist außerdem erforderlich, digitale, harmonisierte und interoperable nationale Registrierungssysteme einzurichten (Erwägungsgrund 31).

Die Vorschriften über Drohnen legen Leitlinien für die Sicherheit, die Gefahrenabwehr sowie den Schutz der Privatsphäre, personenbezogener Daten und der Umwelt fest. Betreiber von Drohnen müssen sich registrieren lassen, wenn ihre Drohnen beim Zusammenstoß mit einer Person mehr als 80 Joule an kinetischer Energie übertragen können. Die elementaren Erfordernisse an „Konstruktion, Herstellung, Instandhaltung und den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge“ werden künftig ebenso in die Aufsicht der Europäische Agentur für Flugsicherheit übernommen, wie die bemannte Luftfahrt.

Mitteilungen



Poster Karl Ritter von Ghega

Global Surveyors Day 2018

Hintergrund

Alljährlich wird seit dem Jahr 2012 am 21. März der Tag des European Surveyors¹ begangen. Damit soll eine gewisse öffentliche Präsenz, einerseits am CLGE-Standort in Brüssel (Lobbying), andererseits in den einzelnen Mitgliedsländern, erreicht werden, die damit den Fokus auf die Eigentumssicherung in Grundbuch und Kataster ver-

stärken soll. Ein Poster mit dem jeweiligen berühmten Geodäten kann kostenfrei unter www.clge.eu bezogen werden.

Surveyors Day 2018

Eine kleine Delegation der CLGE-Verantwortlichen, bestehend aus den Kollegen Barbieri (Schweiz), Krupa (Kroatien), Pirlot (Belgien) und Smith (Frankreich), hat sich als Vortragende für die diesjährige Tagung der Weltbank zum Thema „Land Governance in an Interconnected World“ zur „Conference on Land and Poverty“ vom

1) Bisher wurden dazu berühmte Geodäten wie Mercator, Galilei, Struve, Euclide, Boscovich und Dufour vom CLGE-Vorstand ausgewählt.

19.-23. März angemeldet, die aber zeitgleich mit dem European Surveyors Day stattfand.

Der Veranstalter hat den leicht erklärbaren Ausweg aufgezeigt und kurzerhand den European Surveyors Day zum Global Surveyors Day erklärt.

Karl Ritter von Ghega – Surveyor of the Year 2018

Der diesjährige Vorschlag für Karl Ritter von Ghega wurde von Albanien eingebracht, weil die Eltern von Carlo Ghega aus Albanien stammten und die Familie nach Venedig umgezogen war. Der Vorschlag hinsichtlich Ghega war selbstverständlich von Österreich zu unterstützen, gilt Ghega doch in Österreich als Planer und Erbauer der Semmering-Bahn und anderer Eisenbahnstrecken. Das hatte dann aber auch zur Folge, dass Kollege Ismaili (Albanien) und der Verfasser dieser Mitteilung ebenfalls sich an den Ort der Weltbank und zur Präsentation von Karl Ritter von Ghega zu begeben hatten.

Wegen der herrschenden, extremen Witterungslage konnten ehrende Worte nur von folgenden Repräsentanten gesprochen werden; von Maurice Barbieri, CLGE-Präsident, Craig Hill, LEICA-Repräsentant in USA, Curtis

Sumner, Direktor von NSPS, USA, Chryssy Potsiou, FIG Präsidentin und dem Autor selbst.

Kollenprat hob in seiner Rede die Bedeutung von Karl Ritter von Ghega hervor, der als Symbolfigur für das österreichische Ingenieurwesen zu werten ist. Obwohl Ghega als Global-Surveyor nominiert wurde, ist er aber als Universal-Ingenieur zu betrachten, der Wesentliches für den Maschinenbau (Entwicklung modernerer Lokomotiven), für die Trassierung (Finden des geeigneten Übergangs über den Semmering), für den konstruktiven Ingenieurbau (Tunnel, Brücken, Viadukte), aber auch für das Vermessungswesen (Grundlage jeder Detailplanung) beigetragen hat.

Resümee

Der European Surveyors Day wird sicher weiter begangen werden; ob eine Wiederholung auf globaler Ebene zustande kommt, muss abgewartet werden. Die Kontakte, insbesondere zu unseren europäischen Nachbarländern, aber auch zu den Notaren, sind wichtig, will man den in Österreich erreichte Qualitätsstandard in der Eigentumssicherung auch künftig bewahren.

Dietrich Kollenprat

Vorsitzender der Bundesfachgruppe Vermessungswesen



Poster-Enthüllung

Tagungsberichte



Workshop on 3D Cadastre, Delft

Im Rahmen der Geo Delft Conferences 2018 fand vom 2. bis 4. Oktober der 6. internationale Workshop zum Thema 3D-Kataster statt. Kolleginnen¹ aus vielen Ländern von sechs Kontinenten präsentierten ihre Ideen in 31 Fach- und 4 Hauptvorträgen. Die genaue Zahl an Teilnehmerinnen ist schwer festzustellen, da in Summe 4 Konferenzen organisiert wurden und man Vorträge aller Konferenzen besuchen durfte. Neben dem Kataster-Workshop fanden auch das ISPRS Kommission IV Symposium, die 13. 3D Geoinfo Konferenz und die Konferenz Smart Data and Smart Cities statt. Bei den Kataster-Vorträgen waren immer zwischen 40 und 80 Zuhörerinnen anwesend. Der erste 3D-Kataster-Workshop der Serie fand 2004 statt, seit 2010 wird die Serie von der FIG Arbeitsgruppe für 3D-Kataster getragen. Neben Wissenschaftlern aus aller Welt waren auch Vertreter mehrerer Katasterbehörden anwesend. Mit größeren Gruppen waren Schweden (Lantmäteriet), die Schweiz (Swisstopo), die Niederlande (Dutch Cadaster) und Weißrussland (National Cadastre Agency) vertreten.

Die Themen der Vorträge waren breit gestreut und reichten von der Modellierung von Daten und Prozessen über die Änderungsdokumentation mittels ePlan und Anwendungsbeispiele für den Bedarf an dreidimensionalen Eigentumsdokumentationen bis hin zur Visualisie-

rung der Modelle. Die vier Keynotes deckten ein sehr breites Spektrum ab. Während Rod Thompson (TU Delft) die letzten 30 Jahre Revue passieren ließ und versuchte, einen Ausblick auf die Zukunft zu geben, präsentierte Claus Nagel (virtualcitySYSTEMS GmbH) Projekte im städtischen Umfeld und deren Bedarf an 3D-Information. Die abschließenden beiden Keynotes von Antonio Jara (HOP Ubiquitous S.L.) und Ruizhi Chen (Wuhan University) erschlossen dann noch weitere Kooperationsgebiete. Während Antonio Jara über die Herausforderungen von Smart Cities berichtete, präsentierte Ruizhi Chen neueste Entwicklungen im Bereich der Indoor-Positionierung. Beide Themen hängen nun indirekt mit dem 3D-Kataster zusammen, in beiden Fällen sind die Katasterdaten aber durchaus hilfreich.

Die Artikel sind genauso wie die Präsentationsfolien (als PDF) auf <http://www.gdmc.nl/3DCadastres/workshop2018/programme/> frei zugänglich. In den Pausen gab es ausreichend Zeit für wissenschaftliche Fachgespräche, das Knüpfen von neuen Kontakten und das Entwickeln von Kooperationsideen. Wer einen breiteren Blick auf das Thema Kataster sucht und an dreidimensionalen Konzepten und Anwendungen interessiert ist, sollte sich eine Teilnahme am nächsten Workshop überlegen. Es ist zwar noch nicht festgelegt wo dieser stattfinden wird, die Präsentationen werden aber sicher wieder interessant und die Diskussionen inspirierend sein.

1) Zur leichteren Lesbarkeit wird durchgängig die weibliche Form genutzt, die männliche Form ist jeweils mitgemeint.

Gerhard Navratil

Besuchen Sie die OVG Facebook Seite!

- ➔ Ankündigung von Veranstaltungen
- ➔ Aktuelle Berichte
- ➔ Treffpunkt der Community (aktuell ~100 Abonnenten)
- ➔ Funktioniert auch ohne Facebook Account!

📱 www.facebook.com/OVGAustria 📱

facebook Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation

Startseite Beiträge Veranstaltungen Community Fotos

Beitrag Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation

Die Geschichte der OVG

Be part of it!

Aus dem Vereinsleben

Wir gratulieren!

- Wir gratulieren Dipl.-Ing. Rudolf Kolbe zur Wahl zum Präsidenten der Bundeskammer der Ziviltechniker. Er vertritt nun knapp 9000 Architekten und Zivilingenieure in Österreich.
- Wir gratulieren Dipl.-Ing. Dr. Lionel Dorffner, der zum Leiter der MA 41 – Stadtvermessung der Stadt Wien ernannt wurde.

Herzliche Gratulation zu einem Jubiläum im August, September und Oktober 2018

50. Geburtstag

Dipl.-Ing. Andrea Stummer, Wien
Dipl.-Ing. Gerhard Pfahler, Tribuswinkel

60. Geburtstag

Dipl.-Ing. Rainer Kalliany, Wien

65. Geburtstag

Dipl.-Ing. Erich-Viktor Imrek, Wien
Dipl.-Ing. Helmut Fuß, Wien
Dipl.-Ing. Georg Walter, Landeck

70. Geburtstag

Dipl.-Ing. Franz Demmel, Gmunden
Dipl.-Ing. Friedrich Reichhart, Wien
Dipl.-Ing. Norbert Höggerl, Wien
Dipl.-Ing. Franz Schilcher, Wildon
Dipl.-Ing. Wolfgang Senicar, Spittal/Drau
Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans Sünkel, Graz
Dipl.-Ing. Rudolf Missoni, Spittal/Drau

75. Geburtstag

Dipl.-Ing. Walter Berg, Ried im Innkreis
Dipl.-Ing. Klaus Gillarduzzi, Innsbruck
Dipl.-Ing. Erich Wilmersdorf, Wien

Dipl.-Ing. Horst-Dieter Luhn, Bruck an der Mur
Dipl.-Ing. Erwin Hynst, Wien

85. Geburtstag

Dipl.-Ing. Franz Josef Nagele, Hall in Tirol

90. Geburtstag

Dipl.-Ing. Wolfgang Giersig, Innsbruck

Wir begrüßen die neuen Mitglieder

Dipl.-Ing. Sonja Wolfartsberger, Steyr
Dipl.-Ing. Markus Troger, Bärnbach
Dipl.-Ing. Michael Fuchsberger, Pregarten
Dipl.-Ing. Andreas Harlander, Dorfgastein
Dipl.-Ing. Stefan Lederbauer, Wien
Dipl.-Ing. Daniel Landskron, Wien
Dipl.-Ing. Anton Marak, Leibnitz
Dipl.-Ing. Stefan Niedermayr, Wien
Dipl.-Ing. Helmuth Sommer, Müzzzuschlag
Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Schönig, Wr. Neustadt
Dipl.-Ing. Arthur Lehner, Wien
Dipl.-Ing. Paul Plank, Grossbachselten
Dipl.-Ing. Anton Grubinger, Salzburg
Valentin Weber, Linz
Manuel Zechner, Maria Saal

Wir trauern um die Verstorbenen

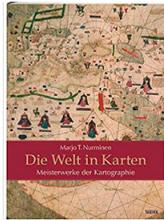
Reinhard Wohlfarter, Jahrgang 1948, ist im Juni verstorben.
Dipl.-Ing. Karl Kropatschek ist im Juli im 96. Lebensjahr verstorben.
Dipl.-Ing. Dr. Ludwig Starkl ist im September im 94. Lebensjahr verstorben.

Buchbesprechungen

Marjo T. Nurminen

Die Welt in Karten

Verlag Theiss, Konrad, wbg,
Darmstadt, 2017,
352 Seiten, € 99,95.
ISBN 978-3-806-23557-9



Die finnische Archäologin und Autorin Marjo Nurminen hat für Liebhaber von historischen Landkarten ein wunderbares Werk geschaffen. In diesem großformatigen Atlas (34 x 25 cm) zeigt sie uns eine Auswahl von prächtigen Land-, See- und Weltkarten. Der Schwerpunkt liegt bei der Darstellung von frühen Karten, also zwischen dem 7. und 17. Jahrhundert.

In fünf großen Kapiteln fasst die Autorin die Reise in die Vergangenheit zusammen:

- Die Mittelalterliche Welt in Karten
- Die Wiederentdeckung der antiken Geografie
- Auf zu neuen Welten
- Die Weltkarte rückt ins Blickfeld
- Die Welt ist umrundet

Jedes Kapitel ist noch in Spezialgebiete unterteilt und endet mit einem Fazit. So erfahren wir im ersten Teil einiges über die mittelalterlichen Seekarten (Portolane) sowie über Richtungen, Entfernung und Maßstab auf den Karten. Im zweiten Teil beschäftigen wir uns mit der Wiederentdeckung der antiken Landkartenkunde. Der dritte Abschnitt hat die Reisen in die Neue Welt zum Thema. Hier lesen wir auch, dass die Osmanen (1517) unter Admiral Piri Reis beim Zeichnen einer exakten Weltkarte die Nase vorne hatten. Im vierten Kapitel lernen wir die Neuerungen in Mathematik und Astronomie der Renaissance kennen. Großformatige Weltkarten rücken in den Fokus von Forschern, Entdeckern und Herrschern. Der fünfte und letzte Abschnitt widmet sich den großen Entdeckern und den begleitenden Kartografen. Vor allem den Niederländern gebührt hier der Respekt. Nun werden auch die ersten Globen wie wir sie heute kennen, angefertigt. Der Epilog gibt dann einen Ausblick auf die späteren Ereignisse wie Aufklärung, Kolonialismus sowie die technischen Innovationen, die die Kartografie nachhaltig beeinflussen.

Ein Großteil der abgebildeten Karten stammt aus Nurminens eigener Sammlung. Die Abbildungen sind oft doppelseitig und mehrfarbig. Wir erfahren einiges über die Kartenherstellung. Zuerst per Hand, dann mit der Erfindung des Buchdrucks werden Karten auch für die Allgemeinheit erschwinglich und verbreiten sich schnell. Zu

jeder Karte wird deren Schöpfer wie z. B. Martin Waldseemüller (1507), soweit bekannt, vorgestellt.

Geografen, Mathematikern und Geodäten sind Fachbegriffe wie zylindrische, stereographische und Kegelprojektion geläufig, andere werden hier wohl ein wenig nachlesen müssen. Wer sich näher mit diesem Thema beschäftigen möchte, findet im Anhang weiterführende Literatur.

„Alte Karten sind wie ein Fenster in die Geschichte.“, sagte Abraham Ortelius, ein flämischer Meisterkartograf, Verleger und Sammler bereits im 16. Jahrhundert. Dem ist wohl wenig hinzuzufügen.

Fazit: Ein imposantes und höchst informatives Werk, das die knapp 100,00 Euro Kaufpreis durchaus rechtfertigt.

Gertrude Gold

Neuerscheinungen

Martin Heintel, Robert Musil und
Norbert Weixlbaumer (Hrsg.)

Grenzen

**Theoretische, konzeptionelle
und praxisbezogene
Fragestellungen zu Grenzen
und deren Überschreitungen**

Springer VS, Verlag für
Sozialwissenschaften,
Wiesbaden 2018, 463 Seiten,
eBook € 46,99, Softcover € 61,68.
ISBN 978-3-658-18432-2



Der Band setzt sich mit einem für Planung und Politik sowie räumliche Sozialforschung wichtigen, jedoch wenig beleuchteten Thema auseinander – mit dem Thema der Grenze. Dabei ist der Band auf unterschiedlichen Diskursebenen angesiedelt: einerseits auf einer theoretisch-konzeptionellen Ebene, die sich mit dem Thema der Grenzziehung und Grenzüberschreitung auseinandersetzt. Andererseits wird die Bedeutung von Grenzen für die Planungs- und Handlungspraxis von Akteuren anhand konkreter Beispiele ausgelotet. Das Ziel des Bandes ist eine Reflexion aktueller und tagespolitischer Fragestellungen zum Thema Grenze im räumlichen, wie auch sozialen Kontext. Neben einem Beitrag zur geographischen Theoriebildung des Phänomens Grenze soll auch dessen Rolle als alltäglicher Handlungsrahmen, als Barriere bzw. als durchlässiger Kontext thematisiert werden.

Veranstungskalender

International LiDAR Mapping Forum (ILMF)

28.01. – 30.01.2019 Denver, Colorado, USA
<http://www.lidarmap.org>

18. Oldenburger 3D-Tage

06.02. – 07.02.2019 Oldenburg, Deutschland
<http://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/fachbereiche/bgg/geoinformation/veranstaltungen/oldenburger-3d-tage>

20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl

10.02. – 16.02.2019 Obergurgl, Ötztal, Österreich
<https://www.uibk.ac.at/vermessung/obergurgl.html>

Dreiländertagung 2019 – Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation

20.02. – 22.02.2019 Wien, Österreich
<http://short.boku.ac.at/DLT2019>

Global Space Congress

19.03. – 21.03.2019 Abu Dhabi, United Arab Emirates
<http://globalspacecongress.com>

Munich Satellite Navigation Summit 2019

25.03. – 27.03.2019 Munich, Germany
<http://www.munich-satellite-navigation-summit.org/>

Geospatial World Forum 2019

02.04. – 04.04.2019 Amsterdam, Netherlands
<http://www.geospatialworldforum.org>

European Geosciences Union General Assembly 2019

07.04. – 12.04.2019 Vienna, Austria
<http://www.egu2019.eu/>

The European Navigation Conference 2019

09.04. – 12.04.2019 Warsaw, Poland
<http://enc2019.eu>

FIG Working Week 2019

22.04. – 26.04.2019 Hanoi, Vietnam
<http://www.fig.net/fig2019/>

18. Internationales 3D-Forum Lindau 2019

07.05. – 08.05.2019 Lindau, Deutschland
<http://www.3d-forum.li/>

ISPRS Geospatial Week 2019 and Workshop Laser Scanning

10.06. – 14.06.2019 Enschede, Netherlands
<https://www.gsw2019.org/>

AGIT 2019

03.07. – 05.07.2019 Salzburg, Österreich
<http://www.agit.at>

ESRI USER CONFERENCE

08.07. – 12.07.2019 San Diego, CA, USA
<http://www.esri.com/events/user-conference>

IUGG 2019 – International Union of Geodesy and Geophysics

08.07. – 18.07.2019 Montreal, Canada
<http://iugg2019montreal.com/>

29th International Cartographic Conference and 17th General Assembly

15.07. – 20.07.2019 Tokio, Japan
<http://icaci.org/icc2019/>

FOSS4G-Europe 2019

26.08. – 31.08.2019 Bucharest, Romania
https://wiki.osgeo.org/wiki/FOSS4G_2019

INTERGEO 2019

17.09. – 19.09.2019 Stuttgart, Deutschland
<http://www.intergeo.de>

OVG-Vorträge Wintersemester 2018/2019

Vortragsprogramm Graz

Veranstaltungsort:

TU Graz

EG, Hörsaal AE01

Steyrergasse 30, 8010 Graz

- Mittwoch, „GNSS Messungen im Kataster –
Transformationsmöglichkeiten nach aktueller VermV“**
5. Dezember 2018,
17 Uhr 15 *Ekkehart GRILLMAYER*
auzinger grillmayer ZT GmbH, Wels
Franz BLAUENSTEINER
BEV, Wien

- Mittwoch, Navigation Get-together
Workshop zum Thema “Indoor Navigation”**
16. Jänner 2019,
16 Uhr 30 *Mehrere Beiträge*
Achtung: Der Workshop findet im Hörsaal BE01 statt

Vortragsprogramm Innsbruck

Veranstaltungsort:

Leopold-Franzen-Universität Innsbruck

Hörsaaltrakt, Hörsaal B6

Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck

- Mittwoch, „GNSS Messungen im Kataster –
Transformationsmöglichkeiten nach aktueller VermV“**
12. Dezember 2018,
18 Uhr 15 *Ekkehart GRILLMAYER*
auzinger grillmayer ZT GmbH, Wels
Franz BLAUENSTEINER
BEV, Wien

- Mittwoch, „Satelliten vermessen den Klimawandel“**
16. Jänner 2019,
18 Uhr 15 *Annette EICKER*
HafenCity Universität Hamburg

Vortragsprogramm Wien

Veranstaltungsort:

TU Wien

3. Stock, Hörsaal für Geodäten, E1 11
Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien

Mittwoch, 200 Jahre Geodäsie an der TU Wien

19. Dezember 2018,
17 Uhr

Es wird vier Vortragende geben (Näheres wird noch bekanntgegeben)

... anschließend gibt es Punsch

Veranstaltungsort:

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

8. Stock, Besprechungsraum A802
Schiffamtsgasse 1-3, 1020 Wien

Mittwoch, Von Koordinaten und Systemen

23. Jänner 2019,
17 Uhr 00

*Philipp Mitterschiffthaler
BEV, Wien*

Jetzt Mitglied werden!



Wir bieten vieles..

- ➡ Netzwerken und Weiterbilden
- ➡ Kostenlose Fachzeitschrift vgi
- ➡ Vorträge und Seminare
- ➡ Ermäßigungen und Förderungen
- ➡ Mitgliederbereich auf der Homepage

➡➡➡ Näheres unter www.ovg.at ➡➡➡

:: Be part of it! ::





OVG – DGPF – SGPF Dreiländertagung 2019



Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation

20.02.-22.02.2019 Universität für Bodenkultur Wien

Die 39. wissenschaftlich-technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) wird in Kooperation mit der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG) und der Schweizerischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) im Rahmen der Dreiländertagung (DLT 2019) vom **20. bis 22. Februar 2019** in **Wien** stattfinden.

Nach den Veranstaltungen 2007 in Muttenz, 2010 in Wien, 2013 in Freiburg i. Br. und 2016 in Bern wird die Tagung im Jahr 2019 an der Universität für Bodenkultur Wien in Zusammenarbeit der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation und dem Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) veranstaltet.

Wissenschaftler/innen, Entwickler/innen und Anwender/innen präsentieren wissenschaftliche Arbeiten aus den Bereichen der **Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformatik**. Die wissenschaftliche Tagung wird auch 2019 durch eine **Fachfirmenausstellung** abgerundet. Institutionen aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltungen können dabei neueste Technologien, Produktentwicklungen, Informationen zu Aus- und Weiterbildung, Studiengangsinformationen sowie andere Aktivitäten oder Produkte vorstellen. Falls sie ausstellen möchten oder zur Ausstellung Fragen haben, können Sie uns unter messe.dlt2019@ovg.at gerne kontaktieren.

Tagungsort

Universität für Bodenkultur Wien; Peter-Jordan-Str. 82; 1190 Wien

Programm

20.02.2019	Eröffnung der Tagung und Keynotes Präsentation der Beiträge für den Karl Kraus-Nachwuchsförderpreis Posterpräsentationen Fachfirmenausstellung Come together
21.02.2019	Fachsitzungen Fachfirmenausstellung Abendveranstaltung mit Preisverleihung im Wiener Rathaus
22.02.2019	Fachsitzungen Fachfirmenausstellung

Wir freuen uns Sie in Wien begrüßen zu dürfen!

<http://short.boku.ac.at/DLT2019>



OVG - DGPF - SGPF Dreiländertagung 2019

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

**Universität für Bodenkultur Wien
Wien, 20.-22. Februar 2019**

