



Karl Rinner Preis 2020

F. Blauensteiner, H.-B. Neuner

***Ein raum-zeitliches Deformationsmodell für
Laserscanning-Punktwolken***

C. Harmening

Das Macroseismic Sensor Projekt

E. Brückl, P. Carniel, S. Mert, R. Meurers

12. GEODÄTENSKIRENNEN 2022

in Dienten am Hochkönig

- Freitag, 21.1.2022 ab 19:00 Uhr Eröffnungsabend und Auslosung der 3er Teams
- Samstag, 22.1.2022 11:00 Uhr Start Riesentorlauf auf der „Marlies Schild Rennstrecke“
- ab 18:30 Uhr Fackelwanderung und Abschlussfeier
- INFOS und ANMELDUNG** <https://www.geodaeten-schirennen.at/>





Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation

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

109. Jahrgang 2021

Heft: 3/2021

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>

<i>F. Blauensteiner: Verleihung des Karl Rinner Preises 2020</i>	99
<i>H.-B. Neuner: Laudatio anlässlich der Verleihung des Karl Rinner Preises 2020 an Dr.ⁱⁿ Corinna Harmening</i>	100
<i>C. Harmening:</i> Ein raum-zeitliches Deformationsmodell für Laserscanning-Punktwolken	103
<i>E. Brückl, P. Carniel, S. Mert, R. Meurers:</i> Das Macroseismic Sensor Projekt	114
Dissertationen, Diplom- und Magisterarbeiten	131
Recht und Gesetz	136
Internationales	138
Tagungsberichte	140
Open GI News	143
Grenzstein	149
Aus dem Vereinsleben	150
Veranstaltungskalender	151



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

109. Jahrgang 2021 / 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 und Laudatio

Verleihung des Karl Rinner Preises 2020



Überreichung des Preises: Werner Lienhart, Corinna Harmening, Christian Lidl, Hans Neuner

Den Fachbereich der Geodäsie zu fördern und in der breiten Öffentlichkeit bekannter zu machen ist eine der Kernaufgaben der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK). Zu diesem Zwecke werden von der ÖGK die Friedrich Hopfner Medaille (alle vier Jahre) und der Karl Rinner Preis (jährlich) vergeben.

Im Speziellen zur Förderung von hervorragenden jungen Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftlern, verleiht die Österreichische Geodätische Kommission seit 2003 jährlich den Karl Rinner Preis. Mit diesem Preis sollen auch die Verdienste von Karl Rinner, Universitätsprofessor an der Technischen Hochschule in Graz und von 1980-1987 Präsident der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung (jetzt ÖGK), gewürdigt werden. Karl Rinner hat die österreichische Geodäsie auf vielfältige Art und Weise gefördert und zu großem internationalen Ansehen verholfen.

Die Bestimmungen für die Verleihung des Karl Rinner Preises sind unter <http://oegk-geodesy.at/index.php/kommission/statuten/statuten-karl-rinner-preis/> angeführt.

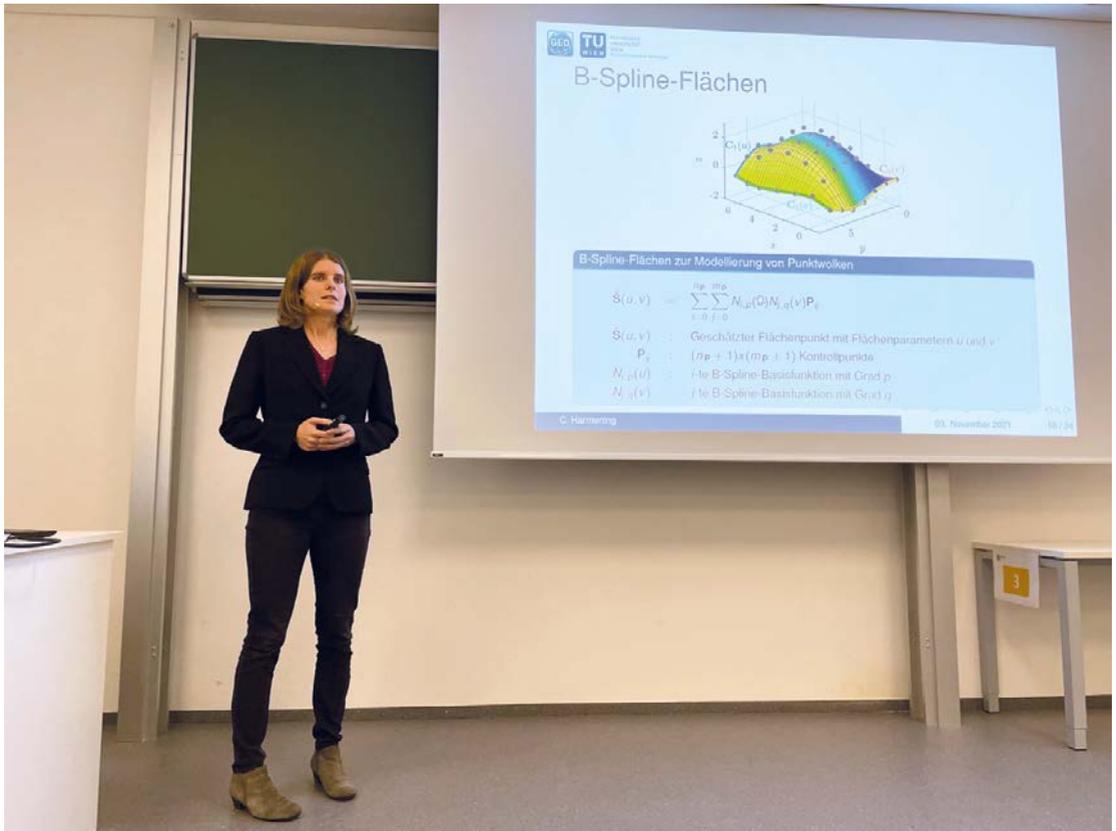
In ihrer Sitzung am 5. Mai 2021 hat die Österreichische Geodätische Kommission beschlossen, den Karl Rinner Preis 2020 an Dr.ⁱⁿ Corinna Harmening für ihre Publikation mit dem Thema „A spatio-temporal deformation model for laser scanning point clouds“ zu vergeben. Diese Publikation entstand im Rahmen ihrer Forschungsarbeiten in der Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie der TU Wien. Publiziert wurde diese Arbeit im Jahr 2020 im Journal of Geodesy.

Die Ehrung der Preisträgerin fand am 3.11.2021 an der TU Wien statt, an der rund 25 Gäste vor Ort sowie rund 25 Gäste online teilnahmen. Nach der von Univ.Prof. Dr. Hans Neuner gehaltenen Laudatio wurde die Karl Rinner Preis Urkunde durch den Präsidenten der ÖGK Univ.Prof. Dr. Werner Lienhart sowie der Preisscheck durch den Vorsitzenden der Bundesfachgruppe Vermessungswesen der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen DI Christian Lidl überreicht. Im Anschluss an die Preisverleihung hielt Dr.ⁱⁿ Corinna Harmening ihren Festvortrag.

Besonderer Dank gilt der TU Wien für die Bereitstellung der IT- Infrastruktur sowie der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen für die Bereitstellung des Preisschecks.

Franz Blauensteiner

Laudatio anlässlich der Verleihung des Karl-Rinner-Preises 2020 an
Dr.ⁱⁿ Corinna Harmening



Vortrag von Dr.ⁱⁿ Corinna Harmening

Sehr geehrter Präsident der ÖGK Prof. Lienhart,
lieber Werner,

sehr geehrter Vorsitzender der Fachgruppe Vermessungswesen in der BAIK DI Lidl,

sehr geehrter Sekretär der ÖGK DI Blauensteiner,
lieber Franz,

sehr geehrte Mitglieder der ÖGK,

sehr geehrte Gäste im Hörsaal und im digitalen Auditorium,

es ist eine große Ehre für mich, Ihnen die Preisträgerin des Karl Rinner Preises 2020 - Frau Dr. Corinna Harmening - vorzustellen und Ihnen die Beweggründe der Nominierung ihrer Arbeit für diesen renommierten Preis näher zu bringen. Eine kurze Danksagung zum Schluss rundet diese Laudatio ab.

Frau Dr. Harmening hat das Studium der Geodäsie und Geoinformation 2013 an der Leibniz Universität Hannover absolviert. Auf dem Weg zu ihrem Studienabschluss hat sie die Bachelorarbeit zum Thema: „Bestimmung von hochaufgelösten 3D-Trajektorien mittels **Kollokation** nach kleinsten Quadraten“ und die Masterarbeit „**Raum-zeitliche** Segmentierung von natürlichen Objekten in stark verdeckten Szenen“ verfasst. Die beiden Arbeiten werden hier explizit genannt, da mit der Kollokation bzw. mit der raum-zeitlichen Segmentierung darin Fragestellungen und Methoden behandelt wurden, die auch in der hier ausgezeichneten Arbeit eine zentrale Rolle spielen. Somit wurde bereits im Studium eine gute Grundlage für die weitere Forschungsarbeit gelegt.

Im Anschluss an das Studium wechselte Frau Dr. Harmening im Jahr 2014 nach Wien an die Technische Universität, wo sie als Projektassis-

tentin im FWF-Projekt „Integrierte raum-zeitliche Modellierung unter Nutzung korrelierter Messgrößen zur Ableitung von Aufnahme Konfigurationen und Beschreibung von Deformationen“ (IMKAD) tätig war. Während dieser Zeit sind zahlreiche Publikationen erschienen, darunter eine zur Schätzung der optimalen Anzahl von Kontrollpunkten von B-Spline-Kurven und -Flächen, die 2016 mit dem Best Paper Award der Fakultät für Mathematik und Geoinformation ausgezeichnet wurde. Nach vierjähriger Tätigkeit war sie anschließend im Folge-FWF-Projekt IMKAD II tätig und konnte gleichzeitig als Universitätsassistentin erste Lehrerfahrung sammeln. Im Jahr 2020 wurde sie mit der Dissertationsschrift „Spatio-temporal deformation analysis using enhanced B-spline models of laser scanning point clouds“ zum Dr. techn. promoviert. Seit September 2020 hat Frau Dr. Harmening eine Dauerstelle als Senior Scientist im Forschungsbereich Ingenieurgeodäsie der TU Wien inne. Was sich als sehr dauerhaft anhört, kann sich im akademischen Wesen jedoch schnell ändern. Frau Dr. Harmening wird 2022 einem Ruf auf die W3-Professur für Geodätische Sensorsysteme an das Karlsruher Institut für Technologie folgen. Zu diesem Schritt sei ihr an dieser Stelle gratuliert und „Alles Gute“ für den neuen Wirkungsbereich gewünscht.

Neben den verschiedenen Aktivitäten in Forschung und Lehre ist Frau Dr. Harmening auch in den internationalen Berufsverbänden sehr aktiv. Sie ist seit 2019 Vice-Chair der Kommission 6 „Engineering Surveys“ der FIG und seit 2015 Co-Chair der Working Group 4.1.3 „3D point cloud based spatio-temporal monitoring“ der IAG.

Die mit dem Karl Rinner Preis 2020 ausgezeichnete wissenschaftliche Publikation hat den Titel „A spatio-temporal deformation model for laser scanning point clouds“. Sie ist in der 2. Ausgabe des Journal of Geodesy, Jahrgang 2020 erschienen. Die Arbeit ist Open Access publiziert und damit für alle Interessierte frei zugänglich. Die Veröffentlichung resultiert zum Großteil aus den Arbeiten in den beiden oben erwähnten FWF-Projekten IMKAD und IMKAD II. Thematisch ist sie im Bereich der punktwolken-basierten Deformationsanalyse angesiedelt. Für die Nominierung des Beitrages seien hier drei Gründe aufgeführt und näher erläutert.

Frau Dr. Harmening legt mit Ihrer Arbeit zur Modellierung von Deformationen aus terrestrischen Laserscanpunktewolken über stochastische Größen die Grundlagen für einen **völlig neuen Weg**.

Die auftretenden Deformationen – hier im Verständnis reiner Verformungen betrachtet – werden als schwach stationärer Prozess aufgefasst, sprich ein Prozess, der nicht vollständig vorhersagbar ist und dessen Varianz eine langsame Änderung in Abhängigkeit des Ortes und der Zeit erfährt. Die Korrelationsstruktur des betrachteten Prozesses wird aus Co-Variogrammen ermittelt. Diese werden zwischen beliebigen Laserscanpunkten, die jeweils zu unterschiedlichen Epochen und an unterschiedlichen Stellen des Messobjektes gemessen werden, geschätzt. Der raum-zeitliche Charakter des Deformationsmodells resultiert einerseits aus dieser Komponente und andererseits aus der orts- und zeitbezogenen Varianz. Der große Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass die Notwendigkeit einer strengen Beobachtung identischer Punkte oder geometrischer Merkmale in den Punktwolken des Objektes zu unterschiedlichen Epochen, stark entkräftet wird. Eine der wesentlichen Restriktionen der Deformations-schätzung aus terrestrischen Laserscanpunktewolken ist hierdurch weitgehend ausgehebelt. Das ist eine große Errungenschaft dieses Ansatzes und dieses Beitrages.

Ein wesentliches Merkmal dieser Arbeit ist ihre sehr **ausgeprägte methodische Breite**. Die Geometrie des Messobjektes im Ausgangszustand wird durch Freiformflächen, speziell B-Spline Funktionen modelliert. Abweichungen von dieser Fläche werden im Sinne der obigen Beschreibung durch statistische Maße, die schwach stationäre Prozesse kennzeichnen, beschrieben. Darunter fallen die orts- und zeitabhängige Varianz sowie die aus Co-Variogrammen ermittelte Korrelationsstruktur. Die Konfidenzbänder der geschätzten Korrelogramme werden mit Methoden des Bootstrappings hergeleitet. Für die Detektion von Bereichen mit lokal-homogener Varianz kommen Clustering Methoden zum Einsatz. Die Aufstellung der Kovarianzmatrix, die die Eigenschaften des schwach stationären Prozesses abbildet, beruht auf die Anpassung positiv definiter Funktionen. Die Aufstellung der Kovarianzmatrix des Rauschens hingegen setzt eine geeignete Vorgehensweise bei der Filterung, sprich die Trennung des Signals vom Rauschen, voraus.

Der dritte Grund für die Nominierung des Beitrages ist Frau Dr. Harmenings **sehr gründliche Vorgehensweise** bei der Erstellung des neuen Deformationsmodells. Lediglich ein Beleg dafür soll hier geliefert werden. Im ersten Teil des Beitrages findet eine Rückwärtsmodellierung statt,

durch die gezeigt wird, dass die ausgewählten theoretischen Konstrukte zur Entstehung und Beschreibung typischer Deformationsverläufe herangezogen werden können. Mit dieser Rückwärtsmodellierung werden synthetische Daten erzeugt, die typische Deformationsverläufe nachbilden. Im zweiten, dem ausgedehnteren Teil des Beitrages findet die Vorwärtsmodellierung statt. Diese führt zur Entstehung des raum-zeitlichen Deformationsmodells. Die erzeugten synthetischen Daten werden hier herangezogen, um die praktische Einsetzbarkeit und die Leistungsfähigkeit des Modells zu beurteilen. Natürlich sind nicht alle Komponenten des Modells abschließend erforscht und bearbeitet worden. Dies würde den Rahmen des mit 25 Seiten ohnehin umfangreichen Beitrages sprengen. Es ist vielleicht aber auch die prägende Charakteristik eines neuartigen Ansatzes, dass er zu weiteren Forschungsarbeiten ermuntert, die diesen durch Verbesserungen und Erweiterungen weiterentwickeln.

Abschließend sei der Preisträgerin für Ihre intensive und gründliche Forschungsarbeit gedankt. Dank gebührt auch dem gesamten Team Ingenieurgeodäsie an der TU Wien über die Jahre hinweg, denn nur in einem kollegialen und rücksichtsvollen Umfeld kann eine solche innovative Arbeit realisiert und finalisiert werden. Ein großer Dank sei an den FWF ausgesprochen, denn die Förderung der beiden Projekte IMKAD und IMKAD II hat die Entstehung der Arbeit überhaupt ermöglicht. Weiterhin sei den Reviewern und den Editoren des Journal of Geodesy gedankt, die mit vielen hilfreichen Hinweisen die Entstehung des Beitrages in der aktuellen Form unterstützt haben. Nicht zuletzt wird der BAIK und Herrn DI Lidl für die Unterstützung der Preisverleihung für diese Arbeit gedankt.

Hans-Berndt Neuner



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 ⬅



:: Be part of it! ::



Ein raum-zeitliches Deformationsmodell für Laserscanning-Punktwolken

A spatio-temporal deformation model for laser-scanning point clouds

Corinna Harmening, Wien

Kurzfassung

Mit dem Einzug des terrestrischen Laserscanners in die Ingenieurgeodäsie steht seit einigen Jahren ein vielversprechendes Messinstrument für die Durchführung von geodätischen Überwachungsmessungen zur Verfügung. Trotz des häufigen Einsatzes von terrestrischen Laserscannern im Rahmen von Überwachungsmessungen stellt die anschließende Auswertung der erfassten Daten, die punktwolkenbasierte Deformationsanalyse, immer noch eine Herausforderung dar.

In diesem Beitrag wird ein raum-zeitliches Deformationsmodell vorgestellt, das eine Reihe von offenen Fragestellungen der punktwolkenbasierten Deformationsanalyse löst. Die Grundidee des entwickelten Ansatzes ist die Interpretation der Deformation als Realisierung eines raum-zeitlichen stochastischen Prozesses, womit die Modellierung des erfassten und sich deformierenden Objektes mit Hilfe dreier Anteile möglich wird: Ein deterministischer Trend repräsentiert das nicht-deformierte Objekt, ein stochastisches Signal beschreibt den lokal homogenen stochastischen Deformationsprozess und ein stochastisches Messrauschen berücksichtigt Unsicherheiten, die durch den Messprozess verursacht werden. Durch die stochastische Modellierung der Deformationen ist es nicht notwendig, Punktkorrespondenzen in unterschiedlichen Messepochen zu definieren. Ergebnis der durchgeführten Fläche-zu-Fläche-Vergleiche sind interpretierbare Verschiebungsvektoren.

Schlüsselwörter: B-Spline-Flächen, Deformationsanalyse, Kollokation nach kleinsten Quadraten, Laserscanning, lokal homogene stochastische Prozesse

Abstract

With the increased use of the terrestrial laser scanner in engineering geodesy, a promising measurement instrument for performing geodetic monitoring tasks has been available for several years. Despite the frequent use of terrestrial laser scanners in the context of monitoring tasks, the subsequent analysis of the acquired data, the point cloud-based deformation analysis, still poses a challenge.

In this paper, a spatio-temporal deformation model that solves a number of open issues in point cloud-based deformation analysis is presented. The basic idea of the developed approach is to interpret the deformation as the realization of a spatio-temporal stochastic process, thus allowing for the modeling of the acquired object by means of three components. A deterministic trend represents the non-deformed object, a stochastic signal describes the locally homogeneous stochastic deformation process, and a stochastic measurement noise accounts for uncertainties caused by the measurement process. Due to the stochastic modeling of the deformations, it is not necessary to define point correspondences in different measurement epochs. The results of the surface-to-surface comparison conducted are interpretable displacement vectors.

Keywords: B-spline surfaces, deformation analysis, least squares collocation, laser scanning, locally homogeneous stochastic processes

1. Einleitung

Die Deformationsanalyse stellt seit Jahrzehnten eine der Hauptaufgaben der Ingenieurgeodäsie dar [1]. In der klassischen Deformationsanalyse werden charakteristische Objektpunkte wiederholt bestimmt, beispielsweise durch Nivellement, GNSS-Messungen oder tachymetrische Messungen. Auf Basis dieser Wiederholungsmessungen werden Koordinatendifferenzen abgeleitet, die die Deformationen des Objektes repräsentieren [2]. Obwohl diese Vorgehensweise eine lange Tradition besitzt, bringt sie einige Nachteile mit sich:

Zum einen benötigt die geeignete Wahl von charakteristischen Objektpunkten Vorwissen über die erwartete Deformation, zum anderen erfordert die wiederholte Messung dieser Objektpunkte eine Signalisierung, die nur dann möglich ist, wenn das Objekt zugänglich ist. Hinzu kommt, dass die Deformationsinformation nur an einzelnen diskreten Punkten des Objektes vorliegt und dass diese Vorgehensweise insbesondere bei großen Messobjekten sehr zeit- und arbeitsaufwändig ist ([3], [4] [5]).

Mit dem terrestrischen Laserscanner steht seit einigen Jahren ein Messinstrument zur Verfügung, welches die schnelle und kontaktlose Erfassung auch nicht-zugänglicher Messobjekte erlaubt. Die erfassten Punktwolken besitzen eine hohe räumliche Auflösung und geben eine quasi-kontinuierliche Beschreibung des Messobjektes [4]. Mit diesen Eigenschaften besitzt das Laserscanning ein enormes Potential, um die oben genannten Nachteile der klassischen punktbasierten Deformationsanalyse zu beheben. Trotz der messtechnischen Vorteile des Laserscannings bringt die Auswertung dieser Daten im Rahmen einer sogenannten flächenhaften Deformationsanalyse eine Reihe von Herausforderungen mit sich (siehe z.B. [2], [6]): Insbesondere die Tatsache, dass sich Messpunkte nicht reproduzieren lassen, und die daraus resultierende Frage auf welche Art und Weise sich Punktwolken miteinander vergleichen lassen, ist an dieser Stelle zu nennen. Auch die üblicherweise verringerte Messgenauigkeit im Vergleich zu beispielsweise tachymetrisch gemessenen signalisierten Punkten spielt eine große Rolle, insbesondere wenn es um die Aufdeckbarkeit kleiner Deformationen geht. Weiterhin erschwert das Fehlen eines vollständigen Fehlermodells für terrestrische Laserscanner die Trennung der eigentlichen Deformationen von systematischen Fehlereinflüssen des Laserscanners.

Trotz dieser Herausforderungen existieren eine Reihe von Strategien zur Durchführung eines Punktwolkenvergleichs und damit auch zur Durchführung einer punktwolkenbasierten Deformationsanalyse. Diese Strategien werden üblicherweise wie folgt klassifiziert [6]:

- Bei Durchführung eines *Punkt-zu-Punkt-Vergleichs* wird angenommen, dass Punktkorrespondenzen innerhalb unterschiedlicher Punktwolken existieren (beispielsweise durch die Verwendung eines geeigneten Messaufbaus ([7], [8]) oder dass sie konstruiert werden können. Letzteres wird üblicherweise durch lokale Modelle von Punktwolken ([9], [10]) oder durch den Einsatz von Merkmalsdeskriptoren ([11], [12]) erreicht. Auf Basis dieser identischen Punkte lassen sich anschließend Verschiebungsvektoren bestimmen, die die Deformation repräsentieren.
- Wird ein *Punkt-zu-Fläche-Vergleich* durchgeführt, wird in einem ersten Schritt eine der Punktwolken durch eine Referenzfläche approximiert. In Abhängigkeit von der Art der gewählten Fläche werden mesh-basierte Ansätze

([13], [14]) oder Ansätze basierend auf analytischen Flächen unterschieden ([10], [15]). Für die eigentliche Deformationsanalyse werden anschließend die Distanzen der Punkte aller nachfolgenden Punktwolken zu dieser Referenzfläche bestimmt.

- Bei Verwendung eines *Fläche-zu-Fläche-Vergleichs* werden alle erfassten Punktwolken modelliert – entweder mit Hilfe von Meshes oder mit Hilfe von analytischen Flächen. Die Untersuchung auf Deformationen zwischen diesen Modellen kann dann auf zwei Arten durchgeführt werden: In der ersten Variante werden die Modelle der Punktwolken genutzt um identische Punkte in den unterschiedlichen Messepochen zu konstruieren, sodass die Berechnung von Verschiebungsvektoren möglich wird ([16], [17]). Die zweite Variante setzt analytische Modelle der Punktwolken voraus und vergleicht die geschätzten Parameter dieser Modelle über die Zeit ([8], [18]).

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur flächenhaften Deformationsanalyse vorgestellt, der im erweiterten Sinn einen Fläche-zu-Fläche-Vergleich von Laserscan-Punktwolken erlaubt. Ausgangspunkt dieses Modells ist die Bestimmung einer Referenzfläche, die den nicht-verformten Zustand des Messobjektes beschreibt. Die Deformationen in Bezug auf diese Referenzfläche werden ähnlich einer Kollokation nach kleinsten Quadraten stochastisch modelliert. Anders als die bislang in der Literatur vorgestellten Deformationsmodelle setzt das hier präsentierte Modell keine Punktkorrespondenzen für die Deformationsanalyse voraus. Die erfasste Deformation wird raumkontinuierlich beschrieben, gleichzeitig besteht jedoch auch die Möglichkeit der Erweiterung um eine zeitkontinuierliche Beschreibung (analog zur Prädiktion der Kollokation nach kleinsten Quadraten). Das Modell erlaubt weiterhin die Einbeziehung des vollbesetzten stochastischen Modells des Laserscanners, das sowohl inter- als auch intra-epochale Korrelationen berücksichtigt, und somit die Durchführung realistischer statistischer Tests zur statistischen Absicherung der ermittelten Deformationen.

Das vorliegende Paper ist wie folgt strukturiert: In Kapitel 2 werden die für das Verständnis des Papers erforderlichen mathematischen Grundlagen beschrieben. Insbesondere wird auf die Punktwolkenmodellierung mit Hilfe von B-Spline-Flächen sowie auf die Modellierung von Zusammenhängen innerhalb stochastischer Prozesse eingegangen. In Kapitel 3 wird der in dieser Ver-

öffentlichung verwendete Datensatz vorgestellt. Kapitel 4 widmet sich der formalen Definition des Deformationsmodells, dessen konkreter Ablauf in Kapitel 5 beschrieben ist. In Kapitel 6 werden die erzielten Ergebnisse gezeigt und diskutiert und Kapitel 7 beschließt die Veröffentlichung mit einer Zusammenfassung und einem kurzen Ausblick.

2. Mathematische Grundlagen

2.1 Schätzung von B-Spline-Flächen

Eine B-Spline-Fläche vom Grad p und q ist definiert durch [19]:

$$\hat{S}(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{ij}. \quad (1)$$

Ein Flächenpunkt $\hat{S}(u, v)$ berechnet sich somit als das gewichtete Mittel der $(n+1) \times (m+1)$ Kontrollpunkte P_{ij} . Die entsprechenden Gewichte sind die B-Spline-Basisfunktionen $N_{i,p}(u)$ und $N_{j,q}(v)$ von Grad p und q . Die Basisfunktionen sind Funktionen der Flächenparameter u und v und lassen sich rekursiv mit Hilfe des Cox-de-Boor-Algorithmus berechnen ([20], [21]). Weiterhin wird der Parameterraum durch zwei Knotenvektoren $\mathbf{U} = [u_0, \dots, u_r]$ und $\mathbf{V} = [v_0, \dots, v_s]$ in Knotenspannen unterteilt, die den B-Spline-Flächen die Eigenschaft der Lokalität verleihen: Die Verschiebung eines einzelnen Kontrollpunktes verändert den Verlauf der B-Spline-Fläche nur innerhalb eines lokalen Bereichs.

Für die Approximation von Punktwolken mit Hilfe von B-Spline-Flächen werden üblicherweise nur die Positionen der Kontrollpunkte in einem linearen Gauß-Markov-Modell geschätzt. Die Wahl der optimalen Anzahl von zu schätzenden Kontrollpunkten ist eine Aufgabe der Modellselektion und kann mit Informationskriterien oder mit Hilfe der strukturellen Risikominimierung gelöst werden ([22], [23]). Um einen linearen Zusammenhang zwischen den zu schätzenden Kontrollpunkten und den beobachteten Punkten $S(u, v)$ der Punktwolke zu erhalten, werden die Knotenvektoren sowie die Grade der B-Spline-Basisfunktionen üblicherweise vorab bestimmt. Verfahren der Knotenschätzung lassen sich z. B. in [24], [25] finden. Die Bestimmung der Grade der Basisfunktionen kann mit Hilfe der strukturellen Risikominimierung in die Modellselektion einbezogen werden [26]. Alternativ werden häufig kubische B-Splines ($p = q = 3$) verwendet, da mit ihnen die Stetigkeitseigenschaften einer Vielzahl von gebauten Strukturen dargestellt werden können. Weitere Voraussetzung für eine erfolgreiche

Punktwolkenmodellierung mit B-Spline-Flächen ist die Zuordnung geeigneter Flächenparameter u und v zu den Beobachtungen, die diese auf der zu schätzenden Fläche lokalisieren [27].

2.2 Raum-zeitliche stochastische Prozesse

Ein raum-zeitlicher stochastischer Prozess $\Psi(t, \mathbf{X})$ ist stationär (homogen) wenn seine statistischen Momente sich nicht mit der Zeit t (dem Ort \mathbf{X}) ändern und seine gemeinsamen statistischen Momente reine Funktionen des zeitlichen Abstandes τ (des räumlichen Abstandes d) zweier Beobachtungen sind ([28], [29]). Zeitliche Abhängigkeiten innerhalb stationärer stochastischer Prozesse werden üblicherweise mit Hilfe von Kovarianzfunktionen modelliert [28], wohingegen Variogramme (s. Gleichung (2)) verwendet werden, um räumliche Abhängigkeiten zu modellieren [29]:

$$\hat{\gamma}(\bar{d}_l) = \frac{1}{2|N_l|} \sum_{(\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j) \in N_l} (z(\mathbf{X}_i) - z(\mathbf{X}_j))^2. \quad (2)$$

In Gleichung (2) bezeichnen $z(\mathbf{X}_i)$ und $z(\mathbf{X}_j)$ Realisierungen eines stochastischen Prozesses an den Orten \mathbf{X}_i beziehungsweise \mathbf{X}_j . Das Variogramm (2) mittelt die quadrierten Differenzen dieser Realisierungen über alle $|N_l|$ Punktpaare, deren euklidische Distanz $d_{ij} = \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\|$ im Intervall $N_l (l = 1, \dots, n_l)$ enthalten ist. Somit ist das Variogramm eine Funktion der mittleren Distanz \bar{d}_l aller Punktpaare, die zum Intervall N_l gehören [30].

Ist die Varianz σ^2 des Prozesses bekannt, kann das Variogramm in ein Kovariogramm transformiert werden:

$$\hat{C}(\bar{d}_l) = \sigma^2 - \hat{\gamma}(\bar{d}_l). \quad (3)$$

Durch Normierung dieses Kovariogramms mit $\sigma^2 = \hat{C}(0)$ erfolgt der Übergang zum Korrelogramm:

$$\hat{\rho}(\bar{d}_l) = \frac{\hat{C}(\bar{d}_l)}{\hat{C}(0)}. \quad (4)$$

Ein stochastischer Prozess wird weiterhin als lokal stationär (homogen) bezeichnet, wenn sich sein Korrelogramm in das Produkt aus einem stationären (homogenen) Korrelogramm und einem sich langsam variierenden Maßstabsfaktor auftrennen lässt [31].

3. Verwendeter Datensatz

Das in Kapitel 4 vorgestellte Deformationsmodell wird auf einen simulierten Datensatz angewendet, dessen Grundlage die in Abbildung 1 dargestellte

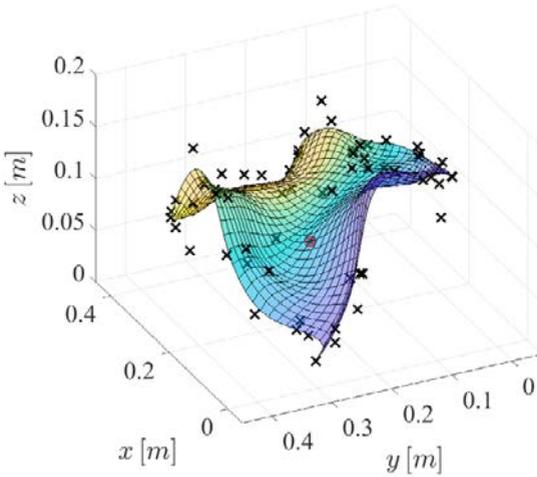


Abb. 1: B-Spline-Fläche als Grundlage für die Datensimulation. Schwarze Kreuze: Kontrollpunkte

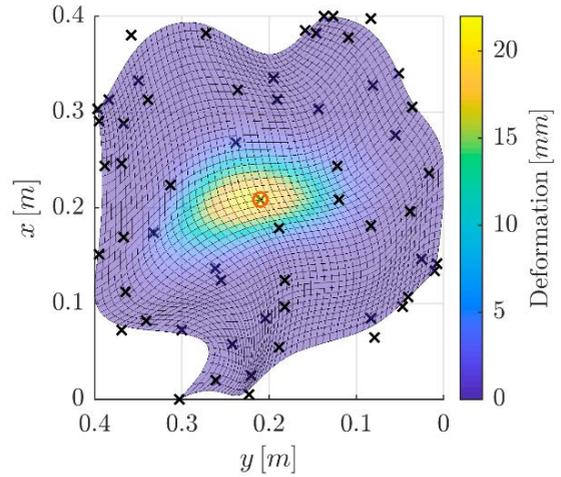


Abb. 2: Deformierter Zustand der B-Spline-Fläche (dritte Messepoche)

kubische B-Spline-Fläche ist. Die Eigenschaft der Lokalität von B-Spline-Flächen ausnutzend, kann eine sich deformierende B-Spline-Fläche generiert werden, indem einzelne Kontrollpunkte verschoben werden. Der in diesem Paper verwendete Datensatz beruht auf einer linearen Verschiebung des Kontrollpunktes $P_{4,5}$ (rot umkreist in Abbildungen 1 und 2) in z -Richtung entsprechend des Bewegungsmodells

$$P_{4,5}(t) = \begin{bmatrix} P_x(0) \\ P_y(0) \\ P_z(0) + 0.025 \frac{m}{s} \cdot t[s] \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Die zu den Zeitpunkten $t_1 = 0s$, $t_2 = 1s$, $t_3 = 1.5s$ sowie $t_4 = 2s$ entstehenden B-Spline-Flächen repräsentieren unterschiedliche Zustände des sich deformierenden Messobjektes. In Abbildung 2 ist der dritte dieser Zustände abgebildet, wobei die Einfärbung der Fläche die Deformation in Bezug auf den initialen Zustand des Objektes zum Zeitpunkt $t_1 = 0$ darstellt.

Das Scanning dieser Flächen mit Hilfe eines terrestrischen Laserscanners wird durch ihr Sampling mit einer räumlichen Auflösung von ca. 6 mm und das anschließende Verrauschen der gesampelten Punkte mit weißem Rauschen ($\sigma = 1 \text{ mm}$) realisiert.

4. Ein raum-zeitliches Deformationsmodell

Das entwickelte Deformationsmodell baut auf der Annahme auf, dass das beobachtete Objekt ausschließlich Verformungen unterliegt bzw. dass mögliche Starrkörperbewegungen bereits

vorab detektiert und eliminiert wurden. Der Begriff „Deformation“ beinhaltet im Folgenden somit ausschließlich Verformungen. Die vorliegenden Verformungen werden weiterhin als kontinuierlich angenommen, sodass das Auftreten von Kanten oder Brüchen ausgeschlossen ist.

4.1 Formale Definition des Deformationsmodells

Ausgangspunkt für das entwickelte Deformationsmodell ist das funktionale Modell der Kollokation nach kleinsten Quadraten [32]:

$$l = A\vartheta + s + \varepsilon. \quad (6)$$

Die Beobachtungen l setzen sich entsprechend dieses Modells aus drei Anteilen zusammen: Einem deterministischen Trend $A\vartheta$, dem stochastischen Signal s , sowie dem Messrauschen ε . Die stochastischen Größen werden als normalverteilt mit Erwartungswertvektor $\mathbf{0}$ und der entsprechenden Varianz-Kovarianzmatrix $\Sigma_{\varepsilon\varepsilon}$ bzw. Σ_{ss} angenommen:

$$\varepsilon \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_{\varepsilon\varepsilon}), \quad s \sim N(\mathbf{0}, \Sigma_{ss}). \quad (7)$$

Korrelationen zwischen Signal und Rauschen werden zudem ausgeschlossen [1].

Der Übergang von Gleichung (6) zum Deformationsmodell in Gleichung (8) erfolgt durch die Zuweisung von geometrischen Bedeutungen zu allen drei Anteilen des funktionalen Modells [17]:

$$l = \underbrace{A\vartheta}_{\text{Objekt}} + \underbrace{s}_{\text{Defo.}} + \underbrace{\varepsilon}_{\text{Rauschen}}. \quad (8)$$

Der deterministische Trend beschreibt im vorgestellten Modell die ursprüngliche und nicht-verformte Geometrie des Messobjektes, die während der ersten Messepoche erfasst wird. Somit bleibt der Trend über alle weiteren Messepochen unverändert und kann einmalig mit Hilfe der Beobachtungen der ersten Messepoche geschätzt werden. Für die Modellierung des Trends werden die in Abschnitt 2.1 vorgestellten B-Spline-Flächen verwendet, die aufgrund ihrer Flexibilität geeignet sind, eine Vielzahl von ingenieurgeodätischen Messobjekten auf einheitliche Art und Weise zu beschreiben.

Gleichung (8) entsprechend werden die Deformationen mit Hilfe eines stochastischen Signals s beschrieben und werden somit als Realisierung eines stochastischen Prozesses modelliert. Dieser Prozess wird als Gauß'scher multivariater raum-zeitlicher stochastischer Prozess $\Psi(\mathbf{X}, t)$ angenommen, der eine Funktion der räumlichen Position \mathbf{X} sowie der Zeit t darstellt. Da im Rahmen von laserscannerbasierten Deformationsmessungen üblicherweise nur wenige Messepochen n_e vorliegen, wird der raum-zeitliche Prozess $\Psi(\mathbf{X}, t)$ als eine Ansammlung von n_e zeitlich abhängender multivariater räumlicher stochastischer Prozesse modelliert, von denen jeder einzelne die Objektdeformation in der entsprechenden Messepoche verursacht [17]:

$$\Psi(\mathbf{X}, t) = \{ \Psi(\mathbf{X})^{(1)} \ \Psi(\mathbf{X})^{(2)} \ \dots \ \Psi(\mathbf{X})^{(n_e)} \}. \quad (9)$$

Jeder der räumlichen Prozesse ist wiederum ein multivariater stochastischer Prozess, der die Deformation in allen drei euklidischen Koordinatenrichtungen repräsentiert:

$$\Psi(\mathbf{X})^{(i_e)} = \{ \Psi_x^{(i_e)}(\mathbf{X}) \ \Psi_y^{(i_e)}(\mathbf{X}) \ \Psi_z^{(i_e)}(\mathbf{X}) \}, \quad i_e = 1, \dots, n_e. \quad (10)$$

Der multivariate Deformationsprozess wird weiterhin als erwartungswert-homogen angenommen:

$$E\{\Psi(\mathbf{X}, t)\} = \mathbf{0}. \quad (11)$$

Somit wird die Deformation ausschließlich durch die Varianzen und Kovarianzen des stochastischen Prozesses charakterisiert. Abhängig von der Art der Deformation kann die Größe der Deformation stark variieren – sowohl über das Objekt als auch über den Beobachtungszeit-

raum. Aus diesem Grund kommen ausschließlich varianz-inhomogene stochastische Prozesse für die Modellierung der Deformation in Frage. Wenn un stetige Deformationen ausgeschlossen werden, stellt ein lokal homogener stochastischer Prozess mit einer homogenen Korrelationsstruktur und einer sich langsam ändernden Varianz eine geeignete Möglichkeit dar, den nicht-homogenen Prozess zu approximieren. Auf Basis dieser Überlegungen lässt sich die (Co-)Varianz eines lokal homogenen raum-zeitlichen stochastischen Prozesses wie folgt definieren [17]:

$$C_{i,j}^{(i_e, j_e)}(\mathbf{X}_1^{(i_e)}, \mathbf{X}_2^{(j_e)}) = \sigma_i^{(i_e)}(\mathbf{X}_1^{(i_e)}) \cdot \sigma_j^{(j_e)}(\mathbf{X}_2^{(j_e)}) \cdot \rho_{i,j}^{(i_e, j_e)}(d_1^{(i_e)}, d_2^{(j_e)}), \quad (12)$$

$$\text{mit: } i, j = x, y, z \\ i_e, j_e = 1, \dots, n_e$$

4.2 Formelapparat zur Filterung und Prädiktion der Deformation

Auf Basis der formalen Definition im vorhergehenden Abschnitt lassen sich Formeln für die Filterung und Prädiktion der Deformation herleiten. Hierfür wird das funktionale Modell (8) zu einem epochalen Modell erweitert, sodass die Beobachtungen aller n_e Messepochen in einem funktionalen Modell berücksichtigt werden können [17]:

$$\begin{bmatrix} l^{(1)} \\ l^{(2)} \\ \vdots \\ l^{(n_e)} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} A^{(1)} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & A^{(2)} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & A^{(n_e)} \end{bmatrix}}_{\bar{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} \vartheta^{(1)} \\ \vartheta^{(2)} \\ \vdots \\ \vartheta^{(n_e)} \end{bmatrix}}_{\bar{\vartheta}} + \underbrace{\begin{bmatrix} s^{(1)} \\ s^{(2)} \\ \vdots \\ s^{(n_e)} \end{bmatrix}}_{\bar{s}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \varepsilon^{(1)} \\ \varepsilon^{(2)} \\ \vdots \\ \varepsilon^{(n_e)} \end{bmatrix}}_{\bar{\varepsilon}}. \quad (13)$$

Mit diesem Schritt einher geht die Erweiterung der beiden stochastischen Modelle zu:

$$\sum_{ss} = \begin{bmatrix} \Sigma_{ss}^{(1,1)} & \Sigma_{ss}^{(1,2)} & \dots & \Sigma_{ss}^{(1,n_e)} \\ \Sigma_{ss}^{(2,1)} & \Sigma_{ss}^{(2,2)} & \dots & \Sigma_{ss}^{(2,n_e)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{ss}^{(n_e,1)} & \Sigma_{ss}^{(n_e,2)} & \dots & \Sigma_{ss}^{(n_e,n_e)} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$\sum_{\varepsilon\varepsilon} = \begin{bmatrix} \Sigma_{\varepsilon\varepsilon}^{(1,1)} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Sigma_{\varepsilon\varepsilon}^{(2,2)} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \Sigma_{\varepsilon\varepsilon}^{(n_e,n_e)} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Während für das stochastische Modell des Signals in Gleichung (14) inter- und intra-epochale Korrelationen zugelassen werden, werden letztere

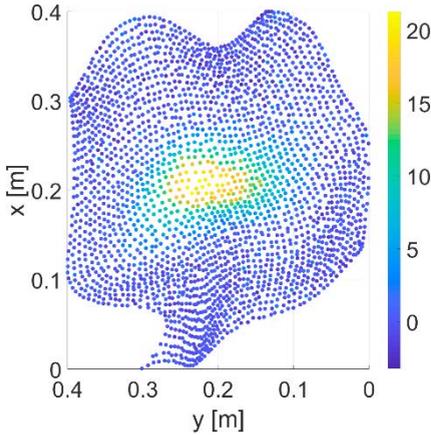


Abb. 3: z-Komponente der Residuen zur Trendfläche in mm am Beispiel der dritten Messepoche

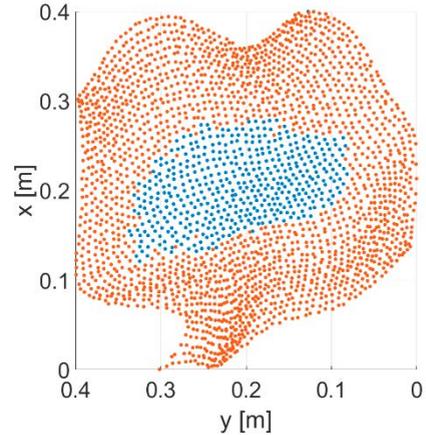


Abb. 4: Detektierter deformierter Bereich am Beispiel der z-Richtung der dritten Messepoche (rot: nicht-deformiert, blau: deformiert)

im stochastischen Modell des Rauschens in Gleichung (15) zunächst ausgeschlossen.

Den oben vorgestellten Ideen folgend, kann der einmalig geschätzte Trend von den Beobachtungen subtrahiert werden, nachdem er bestimmt wurde:

$$\bar{e} = \bar{l} - \bar{A}\vartheta^{(1)} = \bar{s} + \bar{\varepsilon}. \quad (16)$$

Mit diesem Schritt ergeben sich die Residuen \bar{e} bezogen auf die Trendfläche als die eigentlichen Beobachtungen für die Deformationsanalyse.

Die Erweiterung von Gleichung (16) um das zu präzisierende Signal \bar{s}' resultiert im bedingten Ausgleichungsmodell

$$\bar{e} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix}}_{\bar{B}^T} \underbrace{\begin{bmatrix} \bar{s} \\ \bar{s}' \\ \bar{\varepsilon} \end{bmatrix}}_{\bar{v}}. \quad (17)$$

Die Lösung erfolgt damit über [17]:

$$\begin{bmatrix} \hat{\bar{s}} \\ \hat{\bar{s}}' \\ \hat{\bar{\varepsilon}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_{\bar{s}\bar{s}} \\ \Sigma_{\bar{s}'\bar{s}} \\ \Sigma_{\bar{\varepsilon}\bar{\varepsilon}} \end{bmatrix} \hat{\bar{k}}, \quad (18)$$

mit dem geschätzten Korrelatenvektor

$$\hat{\bar{k}} = (\Sigma_{\bar{\varepsilon}\bar{\varepsilon}} + \Sigma_{\bar{s}\bar{s}})^{-1} \bar{e}. \quad (19)$$

5. Durchführung der Deformationsanalyse

In diesem Kapitel wird der Ablauf der Deformationsanalyse mit Hilfe des vorgestellten Modells anhand des in Abschnitt 3 vorgestellten Datensatzes demonstriert.

5.1 Modellierung des Trends

Den Ideen aus Abschnitt 4 folgend, wird die Punktwolke der ersten Messepoche dazu verwendet, die sie optimal approximierende B-Spline-Fläche zu bestimmen. Aus Gründen der Einfachheit werden mit Ausnahme der Positionen der Kontrollpunkte alle verbleibenden B-Spline-Parametergruppen (Grade der Basisfunktionen, Anzahl der Kontrollpunkte, Flächenparameter, Knotenvektoren) auf ihre Sollwerte gesetzt, die aus dem Simulationsprozess bekannt sind. Somit umfasst die Bestimmung der bestangepassten B-Spline-Fläche ausschließlich die Schätzung der Kontrollpunkte in einem linearen Gauß-Markov-Modell. Unter Verwendung der B-Spline-Basisfunktionen lässt sich hierfür die Designmatrix $A^{(1)}$ aufstellen (für detaillierte Informationen s. z.B. [33]), mit deren Hilfe sich anschließend unter Verwendung des stochastischen Modells $\Sigma_u^{(1)} = \mathbf{I}$ die Kontrollpunkte schätzen lassen:

$$\hat{\vartheta}^{(1)} = (A^{(1)T} A^{(1)})^{-1} A^{(1)T} l^{(1)}. \quad (20)$$

Anschließend werden mit Hilfe der geschätzten Kontrollpunkte für alle nachfolgenden Messepochen die Beobachtungen geschätzt, die das nicht-verformte Objekt beschreiben:

$$\hat{l}^{(i_e)} = A^{(i_e)} \hat{\Theta}^{(1)}, \text{ mit } i_e = 1, \dots, n_e. \quad (21)$$

Die daraus entstehenden Residuen der Trend-schätzung

$$e^{(i_e)} = l^{(i_e)} - \hat{l}^{(i_e)} \quad (22)$$

setzen sich dann aus dem Messrauschen und der Deformation des Objektes zusammen [17].

Abbildung 3 zeigt die Punktwolke der dritten Messepoche eingefärbt nach der z-Komponente dieser Residuen. Deutlich erkennbar ist der deformierte Bereich in der Mitte der Fläche, in dem die Residuen Größenordnungen von über 20 mm annehmen.

5.2 Detektion deformierter Bereiche

Da das Signal ausschließlich in den deformierten Bereichen des Objektes auftritt, erfordert die Modellierung des Signals zunächst eine Unterscheidung zwischen deformierten und nicht-deformierten Bereichen. Diese Detektion basiert auf dem Wissen, dass in der ersten Messepoche keine Deformationen auftreten. Somit lassen sich mit Hilfe der Residuen zur Trendfläche der ersten Messepoche Informationen über die Größe des Messrauschens ableiten [17]:

$$\sigma_{i,0}^{(1)2} = \frac{e_i^{(1)T} e_i^{(1)}}{n_i^{(1)} - (n + 1) \cdot (m + 1)}, \quad i = x, y, z. \quad (23)$$

Diese Varianz des Messrauschens wird für die Berechnung eines Schwellwertes verwendet, um Deformationen zu detektieren. Unter der Annahme, dass Regionen, in denen die Abweichung zwischen Beobachtung und geschätzter Trendfläche dieses Messrauschens um einen gewissen Betrag überschreitet, deformiert sind, wird eine Schwellwertbetrachtung durchgeführt: Jede Koordinate, deren Residuum die Gleichung

$$|e_{i,j}^{(i_e)}| > 1.5 \cdot \sigma_{i,0}^{(1)}, \quad (24)$$

mit: $i_e = 2, \dots, n_e$; $i = x, y, z$; $j = n_i^{(i_e)}$

erfüllt, wird als deformiert markiert [17]. Aufgrund der Wahl des relativ kleinen Schwellwerts ist die Wahrscheinlichkeit von Fehlern erster Art relativ hoch. Solche Punkte werden automatisch erkannt und in einem Nachbearbeitungsschritt dem nicht-deformierten Bereich zugeordnet.

Die Schwellwertbetrachtung führt somit zu einer groben Unterscheidung zwischen deformierten und nicht-deformierten Bereichen für

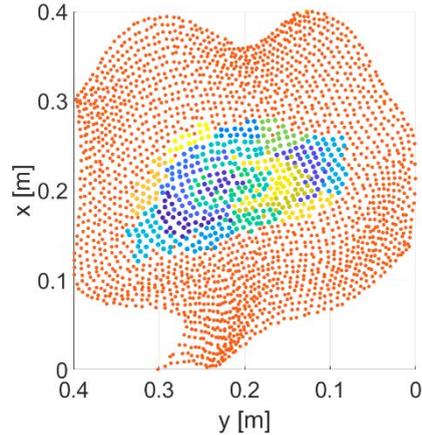


Abb. 5: Ergebnis der k-means-Clustering am Beispiel der dritten Messepoche

jede Koordinatenrichtung (beispielhaft zu sehen in Abbildung 4 für die z-Richtung der dritten Messepoche).

5.3 Modellierung des Signals

Die vollständige Modellierung der Deformationen erfordert eine Schätzung des Signals. Hierfür ist die Bestimmung der lokal homogenen Varianzen sowie die Modellierung der homogenen Korrelationsstruktur notwendig. Das entsprechende mehrstufige Verfahren wird im Folgenden Schritt für Schritt vorgestellt.

5.3.1 Schaffung lokal homogener Bereiche

Um der lokalen Homogenität des Signals Rechnung zu tragen, wird der deformierte Bereich in einem ersten Schritt in Bereiche unterteilt, in denen das entsprechende Signal als homogen angesehen werden kann und somit die Varianz in Gleichung (12) konstant ist. Diese Unterteilung wird durch eine k-means-Clustering erreicht [34]. Der einzige Parameter des Algorithmus ist die Anzahl der Cluster n_c . Dieser Wert wird strategisch in Abhängigkeit von der Größe des deformierten Bereichs gewählt (s.[17] für mehr Details). Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der Clustering für die z-Koordinate der Punktwolke der dritten Messepoche.

Unter Verwendung der 3-Sigma-Regel können die Abweichungen zur Trendfläche verwendet werden, um für jedes Cluster c_j lokal homogene Standardabweichungen zu berechnen [17]:

$$\sigma_{i,j}^{(i_e)} = \frac{1}{3} \max \left(\left| e_{i,j}^{(i_e)} \right| \right), \quad (25)$$

mit: $e_{i,j}^{(i_e)} \in c_j$
 $j = 1, \dots, n_c$
 $i = x, y, z$
 $i_e = 2, \dots, n_e$

5.3.2 Herstellung von globaler Homogenität

Um die homogene Korrelationsstruktur zu bestimmen, werden die Residuen zur Trendfläche normiert [17]:

$$\hat{e}_{i,j}^{(i_e)} = \frac{e_{i,j}^{(i_e)}}{\sigma_{i,j}^{(i_e)}}. \quad (26)$$

Die normierten Residuen besitzen anschließend eine homogene Größenordnung und können somit für die Berechnung empirischer Korrelogramme verwendet werden.

5.3.3 Schätzung empirischer Korrelogramme

Für die vollständige Beschreibung des Signals werden drei unterschiedliche Typen von empirischen Korrelogrammen geschätzt [17]:

- Die *Autokorrelogramme* $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}x^{(i_e)}}(d)$, $\hat{\rho}_{y^{(i_e)}y^{(i_e)}}(d)$ und $\hat{\rho}_{z^{(i_e)}z^{(i_e)}}(d)$ ($i_e = 2, \dots, n_e$) jeder Messepoche beschreiben die stochastischen Zusammenhänge in den drei Koordinatenrichtungen.
- Die *räumlichen Kreuzkorrelogramme* $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}y^{(i_e)}}(d)$, $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}z^{(i_e)}}(d)$, ..., $\hat{\rho}_{y^{(i_e)}z^{(i_e)}}(d)$ ($i_e = 2, \dots, n_e$) charakterisieren die stochastischen Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Koordinatenrichtungen innerhalb derselben Messepoche.
- Die *zeitlichen Kreuzkorrelogramme* $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}x^{(j_e)}}(d)$, $\hat{\rho}_{y^{(i_e)}y^{(j_e)}}(d)$ und $\hat{\rho}_{z^{(i_e)}z^{(j_e)}}(d)$ sowie $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}y^{(j_e)}}(d)$, $\hat{\rho}_{x^{(i_e)}z^{(j_e)}}(d)$, ..., $\hat{\rho}_{y^{(i_e)}z^{(j_e)}}(d)$ ($i_e, j_e = 2, \dots, n_e$, $i_e \neq j_e$) beschreiben sämtliche stochastische Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Messeperioden und modellieren somit – obwohl sie keine Funktion der Zeit sind – implizit die zeitlichen Zusammenhänge.

Für alle drei Arten wird die Korrelationsstruktur an dieser Stelle als isotrop angenommen. Eine Erweiterung auf anisotrope Prozesse und dementsprechend eine Berechnung von directionalen Korrelogrammen ist Bestandteil zukünftiger Untersuchungen.

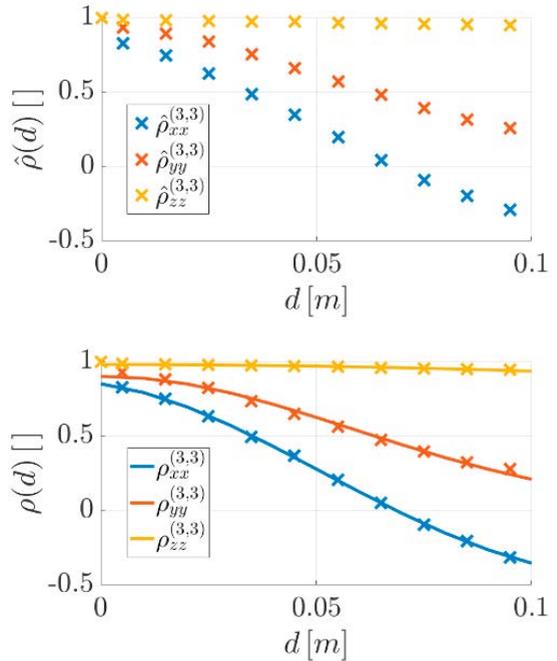


Abb. 6: Empirische (oben) und analytische (unten) Autokorrelationen am Beispiel der dritten Messepoche

Abbildung 6 (oben) zeigt beispielhaft die geschätzten Autokorrelogramme der dritten Messepoche in allen drei Koordinatenrichtungen. Insbesondere in z-Richtung weisen die Autokorrelogramme eine sehr langsame Abnahme auf, aber auch in den anderen beiden Koordinatenrichtungen sind stark ausgeprägte stochastische Zusammenhänge zu erkennen.

5.3.4 Aufstellen des stochastischen Modells des Signals

Die empirischen Korrelogramme werden anschließend mit Hilfe analytischer positiv semi-definiter Funktionen modelliert. Für die in Abbildung 6 (oben) dargestellten empirischen Korrelogramme wird hierfür die Gauß-Funktion

$$\rho(d) = C_0 \cdot e^{-b^2 d^2}; \quad C_0, b > 0 \quad (27)$$

verwendet. Das Ergebnis der Kurvenschätzung in Abbildung 6 (unten) zeigt, dass für den hier betrachteten Datensatz bereits mit einfachen analytischen Funktionen zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden.

Mit Hilfe dieser analytischen Funktionen wird die Korrelationsmatrix R_{gg} , die sich aus $n_e \times n_e$ Untermatrizen zusammensetzt, aufgestellt:

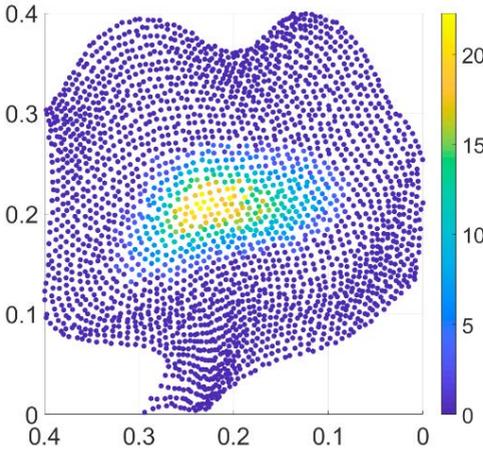


Abb. 7: Geschätzte Deformation in mm am Beispiel der dritten Messepoche

$$R_{ss} = \begin{bmatrix} R_{ss}^{(1,1)} & \dots & R_{ss}^{(1,n_e)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{ss}^{(n_e,1)} & \dots & R_{ss}^{(n_e,n_e)} \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Die Untermatrizen auf der Hauptdiagonale beschreiben die stochastischen Zusammenhänge innerhalb einer Messepoche und werden dementsprechend mit Hilfe der Autokorrelationsfunktionen sowie der räumlichen Kreuzkorrelationsfunktionen besetzt. Die Untermatrizen auf den Nebendiagonalen enthalten die stochastischen Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Messepochen. Für ihre Besetzung werden die zeitlichen Kreuzkorrelationen verwendet. Für detailliertere Informationen sei auf [17] verwiesen.

Die auf diese Art und Weise aufgestellte Korrelationsmatrix wird anschließend mit Hilfe der lokal homogenen Varianzen in die Kovarianzmatrix des Signals \sum_{ss} umgeformt. Zu beachten ist jedoch, dass sich die mit Gleichung (25) bestimmten Varianzen zunächst aus den Varianzen des Signals und des Rauschens zusammensetzen und somit eine Trennung dieser beiden Anteile notwendig ist (s. [17] für mehr Details).

5.4 Modellierung des Rauschens

Die verbleibende zu bestimmende Größe ist die Kovarianzmatrix des Rauschens $\sum_{\epsilon\epsilon}$. Da im Rahmen dieser Veröffentlichung simulierte Daten mit weißem Rauschen verwendet werden, kann $\sum_{\epsilon\epsilon}$ als Diagonalmatrix modelliert werden. Die für die Besetzung benötigten Varianzen der nicht-deformierten Bereiche ergeben sich aus

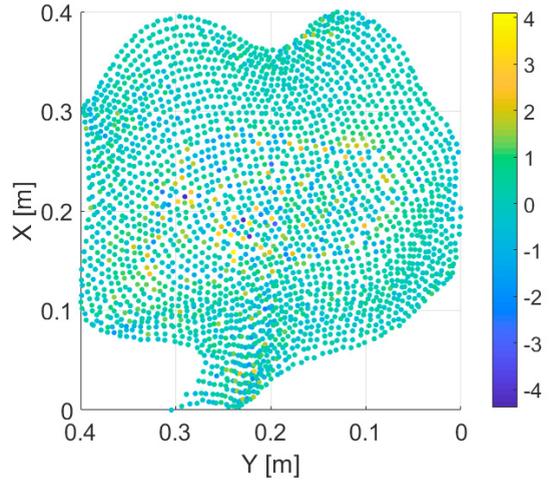


Abb. 8: Abweichungen in mm zwischen den geschätzten und den tatsächlichen Deformationen

der Trendschätzung, während sich die Varianzen der deformierten Bereiche mit Hilfe der zuvor angesprochenen Trennung der Varianzen aus Gleichung (25) bestimmen lassen.

6. Ergebnisse der Filterung

Mit den aufgestellten Kovarianzmatrizen des Rauschens und des Signals lassen sich die Beobachtungen entsprechend der in Abschnitt 4.2 angegebenen Formeln filtern. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die gefilterte Punktwolke der dritten Messepoche, eingefärbt nach der Größe der geschätzten Deformation. Ein visueller Vergleich mit Abbildung 2, in der die tatsächliche Deformation dargestellt ist, lässt bereits eine große Übereinstimmung erahnen.

Zur besseren Vergleichbarkeit sind zusätzlich in Abbildung 8 die Differenzen zwischen tatsächlicher und geschätzter Deformation dargestellt. Wie zu erkennen ist, variiert der Großteil der Abweichungen zufällig in einem Bereich von etwa -3 mm bis 3 mm. Einige wenige Ausnahmen lassen sich im Übergangsbereich zwischen dem deformierten und dem nicht-deformierten Bereich des Objektes erkennen (dunkelblaue Punkte). Abgesehen von diesen Ausreißern liegen die Abweichungen innerhalb des 3σ -Bereichs des für die Datensimulation verwendeten Messrauschens.

Aufgrund der unterschiedlichen Behandlung der beiden Bereiche während der Auswertung ist eine Unterscheidung des deformierten und des nicht-deformierten Bereichs der Punktwolke anhand der Größenordnung der Abweichungen

möglich: Die Genauigkeit der Messungen wird durch die Trendschätzung erhöht, während sie durch die Filterung erhalten bleibt. In beiden Bereichen verhalten sich die Abweichungen jedoch zufällig und lassen keine der Deformation ähnelnde Charakteristik erkennen. Die durch den Deformationsprozess verursachten Systematiken wurden somit durch das stochastische Modell des Signals in zufriedenstellender Weise kompensiert.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein flächenhaftes Deformationsmodell vorgestellt, das es erlaubt, auf Basis von Laserscanning-Punktwolken Deformationen raumkontinuierlich zu beschreiben. Die Grundlage des Ansatzes bildet die Schätzung einer B-Spline-Fläche, die das nicht-deformierte Objekt repräsentiert. Ähnlich wie bei der Kollokation nach kleinsten Quadraten wird die Deformation stochastisch modelliert. Hierfür wird der Deformationsvorgang als ein lokal homogener zeitlich abhängender multivariater räumlicher stochastischer Prozess interpretiert. Charakterisiert wird der Prozess durch homogene Mittelwerte und Korrelationsstrukturen sowie ortsabhängige Varianzen. Die Beschreibung des Prozesses erfordert ein mehrstufiges Verfahren, bestehend aus der Unterscheidung zwischen deformierten und nicht-deformierten Bereichen, der Bestimmung lokaler Varianzen sowie der Schätzung der homogenen Korrelationsstruktur.

Aufgrund der stochastischen Interpretation der Deformation kann die Herausforderung, identische Punkte in unterschiedlichen Messepochen zu finden, umgangen werden. Das entwickelte Modell implementiert im weiteren Sinne einen Fläche-zu-Fläche-Vergleich und erlaubt die Einbeziehung eines vollständigen stochastischen Modells des Laserscanners. Die resultierenden Deformationsmaße in Form von Verschiebungsvektoren sind interpretierbar und aussagekräftig. Darüber hinaus existiert analog zur Kollokation nach kleinsten Quadraten die Möglichkeit das Modell um einen Prädiktionsschritt zu erweitern, womit eine raum- und zeitkontinuierliche Beschreibung der deformierten Oberfläche möglich wird.

Das vorgestellte Verfahren wurde auf simulierte Daten angewandt. Der Vergleich der Ergebnisse mit den bekannten Sollflächen ist vielversprechend: Selbst bei Deformationen, die im Vergleich zur Objektgröße relativ groß sind, wird die Deformation mit einer Genauigkeit in der Größenordnung des Messrauschens modelliert.

In zukünftigen Arbeiten wird der Übergang von simulierten Daten zu gemessenen Daten erfolgen. Ein hierfür notwendiger Schritt sind Untersuchungen bezüglich der Trennbarkeit von korreliertem Messrauschen und korreliertem Signal. Weiterhin ist davon auszugehen, dass der hier verwendete lokal homogene stochastische Prozess nicht für alle Deformationsarten eine geeignete Approximation darstellt. Die Untersuchung von Alternativen ist ebenfalls Bestandteil zukünftiger Arbeiten.

Referenzen

- [1] O. Heunecke, H. Kuhlmann, W. Welsch, A. Eichhorn und H. Neuner, *Handbuch Ingenieurgeodäsie: Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen*, Berlin: Wichmann, 2013.
- [2] T. Wunderlich, W. Niemeier, D. Wujanz, C. Holst, F. Neitzel und H. Kuhlmann, „Areal deformation analysis from TLS point clouds - the challenge“, *Allgemeine Vermessungsnachrichten (avn)*, Bd. 123, Nr. 11-12, S. 340 - 351, 2016.
- [3] R. Shamshiri, M. Motagh, M. Baes und M. A. Sharifi, „Deformation analysis of the Lake Urmia causeway (LUC) embankments in northwest Iran: insights from multi-sensor interferometry synthetic aperture radar (InSAR) data and finite element modeling (FEM)“, *Journal of Geodesy*, Bd. 88, Nr. 12, S. 1171-1185, 2014.
- [4] J.-A. Paffenholz, U. Stenz, D. Wujanz, F. Neitzel und I. Neumann, „3D-Punktwolken-basiertes Monitoring von Infrastrukturbauwerken am Beispiel einer historischen Gewölbebrücke“, in *Terrestrisches Laserscanning*, 2017.
- [5] Z. W. Li, Z. F. Yang, J. J. Zhu, J. Hu, Y. J. Wang, P. X. Li und G. L. Chen, „Retrieving three-dimensional displacement fields of mining areas from a single InSAR pair“, *Journal of Geodesy*, Bd. 89, S. 17-32, 2015.
- [6] W. Mukupa, G. W. Roberts, C. Hancock und K. Al-Manasir, „A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures“, *Survey Review*, Bd. 49, Nr. 353, S. 99-116, 2016.
- [7] M. Little, „Slope monitoring strategy at PPRust open pit operation“, in *International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering*, Kapstadt, 2006.
- [8] R. Lindenberg und N. Pfeifer, „A statistical deformation analysis of two epochs of terrestrial laser data of a lock“, in *Optimal 3D Measurement Techniques VII*, Wien, 2005.
- [9] D. Lague, N. Brodu und J. Leroux, „Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z)“, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Bd. 82, S. 10-26, 2013.
- [10] A. Pesci, G. Teza, E. Bonali, G. Casula und E. Boschi, „A laser scanning-based method for fast estimation of seismic-induced building deformations“, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Bd. 79, S. 185-198, 2013.

- [11] A. Wagner, W. Wiedemann und T. Wunderlich, „Fusion of Laser Scan and Image Data for Deformation Monitoring - Concept and Perspective“, in *7th International Conference on Engineering Surveying (INGEO)*, Lissabon, 2017.
- [12] Z. Gojcic, C. Zhou und A. Wieser, „Learned compact local feature descriptor for TLS-based geodetic monitoring of natural outdoor scenes“, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bd. IV, S. 113-120, 2018.
- [13] E. Serantoni und A. Wieser, „TLS-based Deformation Monitoring of Snow Structures“, in *154. DVVW-Seminar Terrestrisches Laserscanning*, Fulda, 2016.
- [14] D. Wujanz, *Terrestrial Laser Scanning for Geodetic Deformation Monitoring*, Dissertation, Berlin: Technische Universität Berlin, 2016.
- [15] L. Truong-Hong und R. Lindenbergh, „Measuring deformation of bridge structures using laser scanning data“, in *4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Athen, 2019.
- [16] L. Raffl, W. Wiedemann und T. Wunderlich, „Non-signalized Structural Monitoring using Scanning Total Stations“, in *4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Athen, 2019.
- [17] C. Harmening und H. Neuner, „A spatio-temporal deformation model for laser scanning point clouds“, *Journal of Geodesy*, Bd. 94, S. 1-26, 2020.
- [18] C. Harmening und H. Neuner, „Detecting rigid body movements from TLS-based areal deformation measurements“, in *FIG Working Week 2016*, Christchurch, 2016.
- [19] L. Piegl und W. Tiller, *The NURBS Book*, Berlin/Heidelberg: Springer, 1997.
- [20] M. Cox, „The Numerical Evaluation of B-Splines“, *IMA Journal of Applied Mathematics*, Bd. 10, S. 134-149, 1972.
- [21] C. De Boor, „On calculating with B-splines“, *Journal of Approximation Theory*, Bd. 6, S. 50-62, 1972,.
- [22] C. Harmening und H. Neuner, „Choosing the Optimal Number of B-spline Control Points (Part 1: Methodology and Approximation of Curves)“, *Journal of Applied Geodesy*, Bd. 10, S. 139-157, 2016.
- [23] C. Harmening und H. Neuner, „Choosing the optimal number of B-spline control points (Part 2: Approximation of surfaces and applications)“, *Journal of Applied Geodesy*, Bd. 11, S. 43-52, 2017.
- [24] J. Bureick, H. Alkhatib und I. Neumann, „Robust spatial approximation of laser scanner point clouds by means of free-form curve approaches in deformation analysis“, *Journal of Applied Geodesy*, Bd. 10, 2016.
- [25] C. Schmitt und H. Neuner, „Knot estimation on B-Spline curves“, *Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation*, Bd. 103, S. 188-197, 2015.
- [26] C. Harmening, *Spatio-Temporal Deformation Analysis Using Enhanced B-Spline Models of Laser Scanning Point Clouds*, Dissertation, Wien: Technische Universität Wien, 2020.
- [27] C. Harmening und H. Neuner, „A constraint-based parameterization technique for B-spline surfaces“, *Journal of Applied Geodesy*, Bd. 9, S. 143-161, 2015.
- [28] R. Schlittgen und B. H. J. Streitberg, *Zeitreihenanalyse*, München: Oldenbourg, 2013.
- [29] N. A. C. Cressie und C. K. Wile, *Statistics for spatio-temporal data*, New York: Wiley, 2015.
- [30] T. Smith, *Notebook on spatial data analysis*, <http://www.seas.upenn.edu/~ese502/#notebook>, 2016.
- [31] R. Silverman, „Locally stationary random processes“, *IEEE Transactions on Information Theory*, Bd. 3, Nr. 3, S. 182-187, 1957.
- [32] H. Moritz, *Advanced physical geodesy*, Karlsruhe: Wichmann, 1989.
- [33] J. Bureick, H. Neuner, C. Harmening und I. Neumann, „Curve and Surface Approximation of 3D Point Clouds“, *Allgemeine Vermessungsnachrichten (avn)*, Bd. 123, S. 315-327, 2016.
- [34] S. Lloyd, „Least squares quantization in PCM“, *IEEE Transactions on Information Theory*, Bd. 28, Nr. 2, S. 129-137, 1982.

Anschrift der Autorin

Dr. Corinna Harmening MSc, Technische Universität Wien, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Department Geodäsie und Geoinformation, Wiedner Hauptstraße 8 / E120-05, 1040 Wien.

E-Mail: Corinna.Harmening@geo.tuwien.ac.at



Das Macroseismic Sensor Projekt

The Macroseismic Sensor Project



Ewald Brückl, Peter Carniel, Stefan Mert und Rita Meurers, Wien

Kurzfassung

Nehmen Menschen unerwartet Erschütterungen wahr, wollen sie rasch Auskunft über die Natur und Reichweite der Quelle sowie mögliche Gefährdungen und Schäden. Beschränkt auf das Erdbebengebiet des südlichen Wiener Beckens tragen die Daten des Macroseismic Sensor (MSS) Netzes und deren Nahe-Echtzeit Visualisierung im Internet zur raschen Beantwortung dieser Fragen bei. Die aktuelle seismische Aktivität an den einzelnen Stationen kann auf der MSS-Homepage über Symbole auf einer Karte und ausgewählte Zeitreihen mitverfolgt werden. Möglicherweise fühlbare seismische Ereignisse werden als solche erkannt und archiviert. Unterschiedliche Visualisierungen sind innerhalb einer Minute verfügbar und unterstützen die Klassifizierung dieser Ereignisse als Erdbeben, Steinbruchsprengung oder zufälliges, raumzeitliches Zusammentreffen lokaler Erschütterungen. Der Zusammenhang zwischen den Daten des MSS-Netzes und makroseismisch, auf der Basis von Wahrnehmungsberichten ermittelten Intensitäten (EMS-98) stellt ein zentrales Thema des Projektes dar. Die Messdaten der Bebenserie im südlichen Wiener Becken im Frühjahr 2021 erweitern und festigen diesen Zusammenhang. Weiter modellieren wir die Abhängigkeit von seismischen Amplituden und Laufzeiten von der Entfernung zum Erdbebenherd, lokalisieren Erdbeben auf der Basis dieser Beziehungen und berechnen als Quellstärke die Magnitude MSS_M . Letztere ist mit der Magnitude M_L des Österreichischen Erdbebendienstes an der ZAMG hoch korreliert. Die Lokalisierungen über Laufzeiten sind hinsichtlich ihrer Genauigkeit vergleichbar mit den Lokalisierungen durch die ZAMG. Messdaten und Magnituden von Steinbruchsprengungen haben sowohl bei Anrainer*innen als auch Steinbruchbetreibern Beachtung gefunden. Schwinggeschwindigkeiten an Gebäuden interessieren besonders deren Bewohner*innen, die Kenntnis der Magnitude unterstützt den Steinbruchbetreiber bei der Optimierung eines Sprengschemas hinsichtlich Erschütterungen.

Schlüsselwörter: Frei zugängliches seismisches Netzwerk, Nahe-Echtzeit Visualisierung der Bodenbewegung, PGV-Spitzenbodengeschwindigkeit, makroseismische Intensität, Erdbeben Lokalisierung, Sprengerschütterungen

Abstract

People sensing unexpected ground shaking want swift information about the nature of the source, the extent of the shaking, and about potential damage and hazards. A low-cost seismic sensor network, the Macroseismic Sensor (MSS) network has been established in the southern Vienna basin area with the objective to meet this demand. Network data and near-realtime visualizations accessible in the internet provide a quick response to people left curious or insecure by the ground shaking. The actual ground motions at MSS stations are visualized by station markers on a map, and the ground velocity time series recorded at selected MSS stations from the past 10 minutes may be displayed. Seismic events (e.g. earthquakes or quarry blasts) actually or possibly felt in the area of the MSS network are detected and the relevant data is archived. Different modes of visualization of these events are available within one minute and support the classification of the event as an earthquake, a quarry blast or as a random coincidence of very local disturbances. The relationship between MSS data and macroseismic intensities (EMS-98) derived from reports about felt ground motions and their effects poses a central scientific goal of the MSS project. An exceptionally dense and strong earthquake series occurred in the southern Vienna basin during spring of 2021. This data consolidated and extended the above mentioned relationship significantly. We also modelled the dependence of seismic amplitudes and travel times on hypocentral distances and localized earthquakes in the spring 2021 series, implementing these models. An additional outcome of the localizations based on amplitudes is the magnitude MSS_M , which is linearly dependent on and highly correlated with M_L , the local magnitude determined by the Seismological Service of Austria at ZAMG. The localization accuracy using the MSS travel time data is at the level of the ZAMG localizations. Quarry operators as well as residents in buildings near a quarry developed interest in the MSS project, where the seismic load on their buildings is most relevant for the nearby residents. Quarry operators use the magnitude MSS_M to optimize the blasting pattern with regards to seismic emissions.

Keywords: Public domain seismic network, near real-time ground motion visualization, PGV-peak ground velocity, macroseismic intensity, earthquake localization, blast vibrations

1. Einleitung

Gefühlte Erschütterungen, sei dies in Gebäuden oder im freien Gelände, erregen die Aufmerksamkeit der meisten Menschen und bewirken bei stärkeren Ereignissen häufig Angst und Panik. Die wahrnehmende Person könnte sich oder andere fragen:

- Ich habe etwas gespürt – was war das?
- Handelt es sich um ein Erdbeben oder hat eine andere Quelle die Erschütterungen verursacht?
- Von wo gingen die Erschütterungen aus und wie weit waren diese fühlbar?
- Wurden Menschen gefährdet, gab es Sachschäden?

Inhaltlich sehr ähnliche, wenn auch fachlich präziser formulierte Fragen stellen sich bei entsprechenden Ereignissen Bürgermeister*innen, Zivilschutzbeauftragte und das diensthabende Personal der Feuerwehr oder einer Landeswarnzentrale. Erste Ansprechstelle ist traditionell der Erdbebendienst der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Die Lage des Epizentrums, Magnitude und zu erwartende Intensitäten werden rasch an die für den Katastrophenschutz verantwortlichen Stellen weitergeleitet. Von den Erschütterungen betroffene Personen können ihre Wahrnehmungen über eine Handy-App oder ein online Formular im Internet an den Erdbebendienst weiterleiten.

Im vorliegenden Beitrag stellen wir ein Projekt vor, das auf eine zur Methodik des traditionellen Erdbebendienstes komplementäre Weise zur Beantwortung der oben genannten Fragen in Nahe-Echtzeit beiträgt. Die Grundlage bildet ein seismisches low-cost Sensor Netz im südlichen Wiener Becken, dessen Daten in einer intuitiv verständlichen Weise aufbereitet, visualisiert und im Internet öffentlich zugänglich gemacht werden. Wir wollen auch zeigen, welche Informationen die weitergehende seismologische Bearbeitung der Daten dieses Netzes liefern kann. Über dieses Projekt haben die Autoren bereits im Open Access zugänglichen Kapitel „Seismological Data Acquisition and Analysis within the Scope of Citizen Science“ (<https://www.intechopen.com/chapters/74466>) [1] ausführlich berichtet. Wir verzichten daher hier auf eine detaillierte Beschreibung der angewandten Methoden.

Im Frühjahr 2021 fand im südlichen Wiener Becken eine ungewöhnlich intensive Serie fühlbarer Erdbeben statt. Die dabei gewonnenen neuen Da-

ten geben uns eine ausgezeichnete Gelegenheit, Möglichkeiten und Leistungsfähigkeit der gewählten Methodik zu testen.

2. Macroseismic Sensor

Fachkollegen haben uns darauf aufmerksam gemacht, dass der Begriff „Macroseismic Sensor“ einen Widerspruch in sich selbst darstellt. Makroseismik wird jener Bereich der Seismologie genannt, der das Phänomen Erdbeben ausschließlich auf der Basis von Wahrnehmungen und Beobachtungen mit den menschlichen Sinnen beschreibt und analysiert. Die Einführung von Sensoren, insbesondere Seismometern oder Seismographen hingegen führte zur Entwicklung der Instrumentellen Seismologie. Messgeräte und damit erfasste Daten wären demgemäß dieser Disziplin zuzuordnen. Wir bleiben aber beim Begriff „Macroseismic Sensor“, da wir die instrumentell gewonnenen Daten eng mit makroseismischen Daten in Bezug bringen. Im Gegensatz zur Standortwahl für seismische Observatorien positionieren wir Macroseismic Sensoren nahe empfindlicher Infrastruktur und dort, wo sich Menschen als potentielle Beobachter aufhalten. Diese Standortwahl ergibt eine wesentlich höhere seismische Bodenunruhe, als sie für seismische Observatorien akzeptabel ist. Der Einsatz von low-cost Sensoren anstelle von höchst empfindlichen und teuren Seismometern erscheint daher für unsere Zielsetzung gerechtfertigt.

Die Entwicklung des Macroseismic Sensors (im Weiteren MSS) begann im Rahmen des Sparkling Science Projektes „Schools & Quakes“ [2] und des zusätzlichen Citizen Science Moduls „QuakeWatch Austria“ [3]. Lehrer und Schüler des TGM (HTBLuVA Technologisches Gewerbemuseum, Wien) und der HTBLuVA Wiener Neustadt waren und sind zum Teil auch aktuell in die Entwicklung und Fertigung der Geräte involviert. Wir konnten hierbei auf den Erfahrungen der Quake-Catcher Network und Raspberry Shake Projekte [4, 5] aufbauen. Die wesentlichen MSS Komponenten sind zwei orthogonal orientierte Horizontalgeophone, zwei 16bit Analog-Digital Wandler (ADC) und ein Raspberry Pi Einplatinen-Computer (SBC). Diese Komponenten sind in einem robusten Gehäuse untergebracht und werden mit einer einzigen Schraube an einer tragenden Wand befestigt (Abbildung 1). Der SBC steuert die ADCs, formatiert die Daten und stellt die Verbindung zum Internet her. In Abhängigkeit von der programmierbaren Vorverstärkung reicht die Auflösung (LSB) des



Abb. 1: Macroseismic Sensor montiert im Bauamt Bruck an der Leitha (BRUK), gemeinsam mit örtlichen Kontaktpersonen

MSS von $0.28 \mu\text{m/s/count}$ bis $2.24 \mu\text{m/s/count}$. Der Frequenzgang des MSS ist zu niedrigeren Frequenzen hin durch die Eigenfrequenz (4.5 Hz) und kritische Dämpfung der Geophone, nach oben hin durch ein RC-Tiefpass-Filter mit einer Grenzfrequenz von 12.5 Hz bestimmt. Die zeitliche Synchronisierung wird über Network Time Protocol (NTP) sichergestellt. Die seismischen Daten werden im MSEED Format mit 100 Hz Abtastrate, annähernd im 10 s Intervall an den MSS-Server gesandt.

3. MSS-Netz

Das MSS-Netz befindet sich im südlichen Wiener Becken und seiner näheren Umgebung. Dieses Gebiet zählt zu einer Zone relativ hoher Seismizität in Österreich. In Verbindung mit der dichten Bevölkerung und Industrialisierung ergibt sich ein für Menschen und Infrastruktur relevantes seismisches Risiko. Der Grund für die seismische Aktivität ist in der speziellen tektonischen Situation des Wiener Beckens am Ostrand der Alpen zu finden. Das Becken entstand durch die laterale Extrusion des östlichsten Teils der Ostalpen während des Miozäns, verursacht durch die Öffnung des pannonischen Raums innerhalb des Karpatenbogens. Das Becken erreicht eine maximale Tiefe von 6 km und ist von ostalpinem Kristallin, den Nördlichen Kalkalpen und Flysch umgeben. Die Wiener Becken Störung (Vienna Basin Transfer Fault, VBTF) ist die Fortsetzung der Mur-Mürztal-Störung (MMF) und bildet als links-drehende Seitenverschiebung die süd-östliche Grenze des

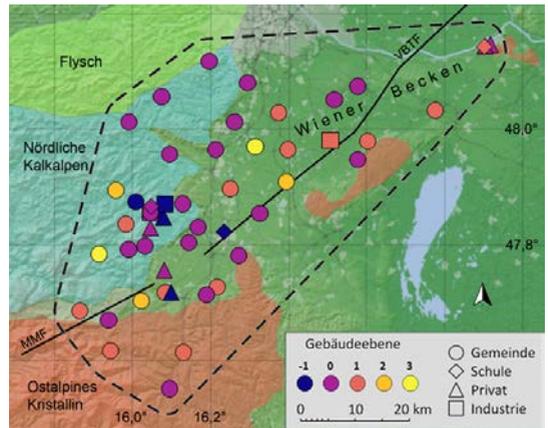


Abb. 2: Projektgebiet südliches Wiener Becken mit geologischen Einheiten, tektonischen Störungen (MMF ... Mur-Mürztal Fault, VBTF ... Vienna Basin Transfer Fault) und Lage der MSS-Stationen (Signatur entsprechend Gebäudeart und Stockwerk)

Beckens [6, 7]. Sie ist noch immer aktiv [8] und stellt den dominierenden, zu Erdbeben in dieser Region führenden Prozess dar.

Der bis 1200 AD zurückreichende Erdbebenkatalog der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik [9] weist in der Region des südlichen Wiener Beckens ungefähr 500 Erdbeben als gefühlte Erdbeben aus, die entsprechend der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98 klassifiziert sind. Die höchsten Intensitäten wurden für die Beben in Schwadorf (VIII, 8. Oktober 1927) und Seebenstein (VII-VIII, 16. April 1972) bestimmt.

Der Aufbau des MSS-Stationsnetzes begann im Jahr 2017 im Umfeld des Steinbruchs Dürnbach / Hohe Wand. Die Auswahl der Stationen fand wesentliche Unterstützung durch den Niederösterreichischen Zivilschutzverband, Bürgermeister*innen und Gemeindebedienstete, Lehrer und Schüler der HTL Wiener Neustadt, Industriebetriebe und Privatpersonen. Bis Ende September 2021 konnten 51 MSS-Stationen in Gemeindeämtern, Schulen, Privathäusern und Industriegebäuden installiert und in Betrieb genommen werden (Abbildung 2). Die MSS wurden nahezu ausschließlich an tragenden Wänden montiert. Grundsätzlich wurde auch versucht, dafür geeignete Orte im Keller, Parterre oder ersten Stock zu finden. An jeder MSS-Station haben wir zumindest eine Ansprechperson, die uns im Fall eines anhaltenden Datenausfalls bei der Fehlerbehebung unterstützt.

4. Seismologische Daten und deren Visualisierung

Zeitreihen der Schwinggeschwindigkeiten im MiniSEED Format, Abtastrate 100 Hz, sowie die Geometrie des MSS-Netzes (Länge, Breite und Höhe der MSS-Stationen, WGS84) sind am Server des MSS-Projektes gespeichert. Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Datensatz des Erdbebens von Breitenau, 30. März 2021 16:25 UTC.

Diese Daten bilden die Grundlage der weiteren seismologischen Analyse, sei es mit hoch entwickelten Programmen wie sie von seismologischen Diensten verwendet werden (z.B. Antelope [10]), kostenfrei verfügbaren Programmen (SeisGram [11], NonLinLoc [12]) oder eigenen Entwicklungen (z.B. unter Python+Obspy [13]). Die unter den Kapiteln 6, 7 und 8 beschriebenen Ergebnisse wurden auf dem letztgenannten Weg erzielt.

Den erfahrenen Seismologinnen und Seismologen des Erdbebendienstes ermöglicht bereits der Blick auf ein Seismogramm eine erste Information über die Distanz zur Quelle, sowie deren Art und Stärke. Interessierten Bürger*innen oder in Politik und öffentlichem Dienst tätigen Personen mögen Seismogramme ebenfalls interessant erscheinen, es ist ihnen aber kaum möglich daraus relevante Informationen zu gewinnen. Wir sehen es daher als ein zentrales Ziel des MSS-Projektes, seismologische Daten in Nahe-Echtzeit so zu bearbeiten und zu visualisieren, dass auch ohne seismologische Vorbildung naheliegende Fragen beantwortet werden können. Mit der Einrichtung der MSS-Homepage [<https://www.macroseismic-sensor.at/>] wird versucht diesem Ziel möglichst nahe zu kommen.

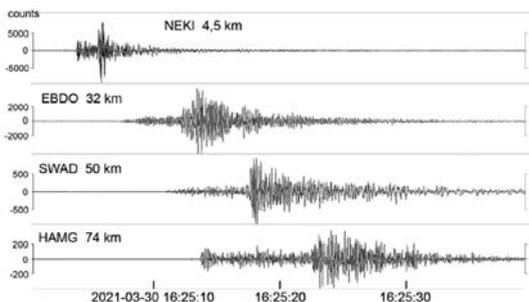


Abb. 3: Seismogramme des Erdbebens von Breitenau, 2021-03-30T16:25 UTC, aufgenommen mit MSS an den Stationen NEKI (Neunkirchen), EBDO (Ebreichsdorf), SWAD (Schwadorf) und HAMG (Hainburg); Darstellung mit SeisGram [11], beide Horizontal-Komponenten übereinander dargestellt, Kilometerangabe entspricht dem Abstand zum Epizentrum, 1 count entspricht $0.56 \mu\text{m/s}$ Schwinggeschwindigkeit

Entsprechend der engen Verbindung des MSS-Projektes zur Makroseismik beschränken wir uns auf seismische Ereignisse, die möglicherweise oder tatsächlich im Gebiet des MSS-Stationsnetzes fühlbar sind. Im Sinne dieser Zielsetzung betrachten wir zunächst nur die Amplituden der seismischen Wellen. Wir verwenden die Peak-Ground-Velocity (PGV) als eine, in der Seismologie zur Bewertung von Schwingungsbelastungen durch Erdbebenwellen eingeführte Größe, wobei wir folgende Unterscheidungen treffen:

PGV	maximale, horizontale Schwinggeschwindigkeit über das Zeitintervall 1 s,
PGV_60	maximale, horizontale Schwinggeschwindigkeit über das Zeitintervall 60 s,
PGV_event	maximale, horizontale Schwinggeschwindigkeit über die Dauer eines seismischen Ereignisses.

Wir beschränken uns bei der Beschreibung der Funktionalität der MSS-Homepage auf einen Überblick. Eine eingehende Beschreibung der vielfältigen Optionen kann auf der MSS-Homepage unter dem Menüpunkt „DOKU“ aufgerufen werden.

4.1 Monitoring der aktuellen seismischen Aktivität

Die aktuelle seismische Aktivität wird auf einer, das MSS-Netz überdeckenden Karte dargestellt (Abbildung 4). Kartographische Darstellungen mit unterschiedlicher Thematik können gewählt und interessante Teilbereiche interaktiv vergrößert werden. Der aktuelle Wert von PGV wird an den MSS-Stationen durch Farbe und Größe der Symbole sichtbar gemacht. Eine erste Information über den zeitlichen Verlauf liefert der Wert PGV_60, der als Symbol mit identischer Kodierung transparent unterlegt ist. Damit lässt sich sehr schnell beurteilen, ob innerhalb dieser 60 Sekunden ein Ereignis stattfand, das auf mehreren Stationen des Netzwerks einen hohen PGV-Wert hervorrief. Der Name einer Station, sowie deren PGV und PGV_60 Werte können mit dem Cursor abgefragt werden.

Erscheint die seismische Aktivität an einer oder mehreren Stationen von besonderem Interesse, können die entsprechenden PGV-Zeitreihen der letzten 10 Minuten aufgerufen werden. Verstärkte Bodenunruhe an einer Station, sei sie nun stochastisch, an- und abschwellend oder langanhaltend,

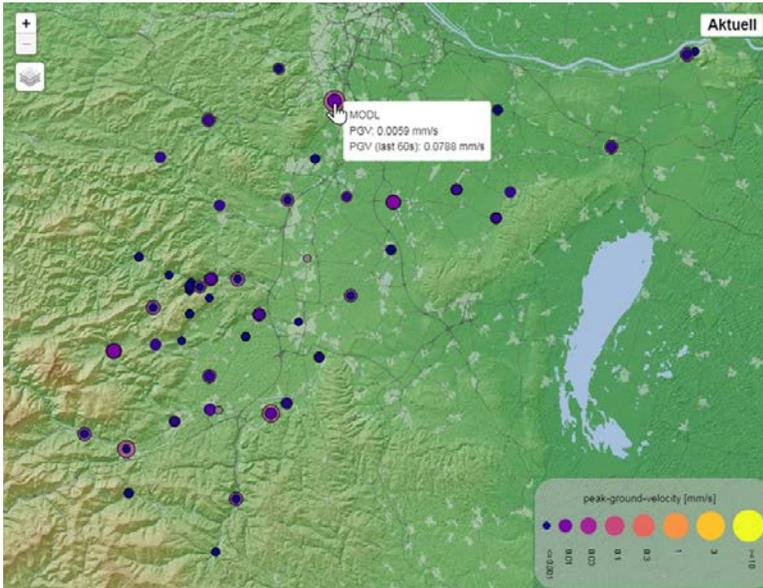


Abb. 4: Kartographische Darstellung der aktuellen seismischen Aktivität mittels Stationssymbolen; Abfrage von PGV und PGV_60 an der Station MODL (Mödling)

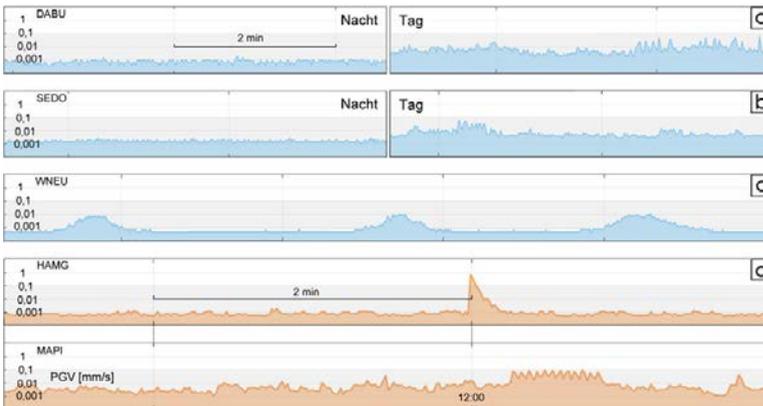


Abb. 5: Zeitreihen von PGV; a) Vergleich von Nacht zu Tag am Schulstandort DABU (Bad Deutsch-Altenburg), b) Vergleich von Nacht zu Tag am Industriestandort SEDO (Seibersdorf), c) nächtlicher Zugverkehr WNEU (HTL Wiener Neustadt), d) Koinzidenz zweier Ereignisse: Sprengung im Steinbruch Pfaffenberg registriert an Station HAMG (Hainburg) und 12 Uhr Läuten der Pfarrkirche in Markt Piesting, registriert an Station MAPI (Gemeindeamt).

tend, kann mit unterschiedlichen lokalen Quellen in Verbindung gebracht werden. Der Vergleich dieser Charakteristik zwischen Tag und Nacht, sowie Wochen- und Feiertag hilft Bürotätigkeit, Schulbetrieb, Verkehr, Bauarbeiten im Nahbereich oder industrielle Produktion als mögliche Quellen der Erschütterungen einzuschränken. Zeitlich vorher-sagbare Quellen bilden u.a. der an einen Fahrplan gebundene Zugverkehr, vom Steinbruchbetreiber

angekündigte Sprengungen, oder als Sonderfall das stündliche Läuten von Kirchenglocken (Abbildung 5).

4.2 Detektion seismischer Ereignisse

In der kartographischen Darstellung der aktuellen seismischen Aktivität reicht die Information über PGV an den MSS-Stationen maximal 60 Sekunden zurück. Die für einzelne Stationen aufrufbaren PGV-Zeitreihen überdecken die vergangenen 10 Minuten. Weiter zurückreichende Information über PGV ist im Modus Aktuell der MSS-Homepage nicht mehr zugänglich. Es besteht daher der naheliegende Wunsch, interessante seismische Ereignisse zu detektieren und deren Visualisierung zu einem späteren Zeitpunkt zugänglich zu machen. Entsprechend der Zielsetzung des MSS-Projektes fordern wir, dass die Detektion und Speicherung jedes potentiell im Bereich des MSS-Netzes fühlbaren Erdbebens gewährleistet ist.

Wie wir in Kapitel 5 zeigen werden, entspricht $PGV = 0.1 \text{ mm/s}$ etwa der Schwelle der Fühlbarkeit von seismisch bedingten Erschütterungen (entspricht dem Wechsel der Farbe der PGV-Zeitreihen von blau auf rosa in Abbildung 5).

Um die sichere Detektion aller, im Bereich des MSS-Netzes fühlbaren Erdbeben sicher zu stellen, muss der Grenzwert für die Detektion deutlich darunter, etwa bei $PGV = 0.01 \text{ mm/s}$ liegen. Wie die Beispiele der aktuellen seismischen Aktivität in Abbildung 5 zeigen, wird diese Schwelle aus den verschiedensten Gründen sehr häufig an einzelnen MSS-Stationen überschritten. Wesentlich seltener ist jedoch das gleichzeitige Auftreten von stärkerer seismischer Bodenunruhe an benach-

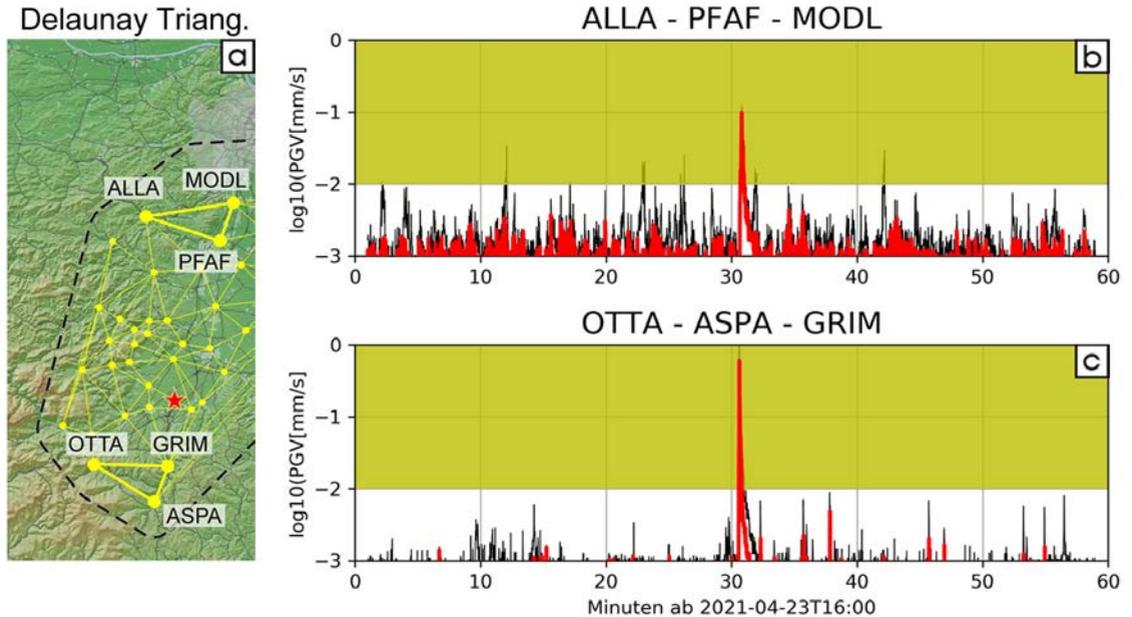


Abb. 6: Detektion eines seismischen Ereignisses (Erdbeben von Grafenbach, 23. April 2021); a) Delaunay Triangulierung des MSS-Netzes, Stern markiert Epizentrum; PGV und PGV_delaunay der Dreiecke b) ALLA-PFAF-MODL und c) OTTA-ASPА-GRIM. (schwarz ...PGV an den MSS-Stationen, rot ...PGV_delaunay).

barten MSS-Stationen. Wir machen uns diese Beobachtung zunutze, um einerseits die Detektion aller fühlbaren Erdbeben zu gewährleisten und auf der anderen Seite die Fehldetektionen, ausgelöst durch lokale Störgeräusche, möglichst gering zu halten.

Wir triangulieren das Netz der MSS-Stationen, fassen jeweils die drei, zu einem Delaunay Dreieck gehörenden Stationen zusammen und definieren „PGV_delaunay“ als das Minimum der drei PGV-Werte des Delaunay Dreiecks. Sobald PGV_delaunay den Grenzwert überschreitet, wird ein seismisches Ereignis definiert und die PGV-Zeitreihen aller MSS-Stationen diesem Ereignis zugeordnet. Entsprechend der Laufzeit seismischer Wellen über das MSS-Netz werden die Detektionen in anderen Delaunay Dreiecken ebenfalls zu diesem Ereignis gezählt und schließlich alle PGV-Zeitreihen inklusive einer Vorlaufzeit und einer nachfolgenden „listening time“ als Ereignis abgespeichert. Abbildung 6 veranschaulicht die Detektion des Erdbebens vom 23. April 2021 16:30 UTC über PGV_delaunay in den Dreiecken der Stationen OTTA – ASPА – GRIM und ALLА – PFAF – MODL. Während PGV an den stark durch lokale Erschütterungen gestörten Stationen PFAF und MODL etliche Male über der Detektionsschwelle von 0.01 mm/s liegt, überschreitet PGV_delaunay diesen Wert nur während des Erdbebens.

4.3 Klassifikation detektierter Ereignisse

Nach der Detektion eines seismischen Ereignisses sind die PGV-Zeitreihen aller MSS-Stationen für die Dauer des Ereignisses, sowie PGV_event auf der MSS-Homepage über den Ansichtsmodus „Archiv“ zugänglich. Im Falle eines Bebens, einer wahrgenommenen Sprengung oder eines fühlbaren seismischen Ereignisses – zunächst unbekannter Ursache – sollen öffentliche Stellen oder interessierte Personen rasch über den Herd, sowie die räumliche Ausdehnung und Intensität der Erschütterungen Auskunft erhalten. Die MSS-Homepage stellt folgende Varianten der Visualisierung von PGV_event und der PGV-Zeitreihe eines gesamten seismischen Ereignisses zur Verfügung:

- PGV_event: Stationsmarker gleich wie im Aktuell Modus
- PGV_event/SA: Farbcodierung der Voronoi-Zellen, die den MSS-Stationen zugeordnet sind
- PGV_event/SA: Konturlinien
- PGV-Zeitreihe: Animation des zeitlichen Verlaufs der Stationsmarker
- PGV/SA-Zeitreihe: Animation des zeitlichen Verlaufs der farbcodierten Voronoi-Zellen

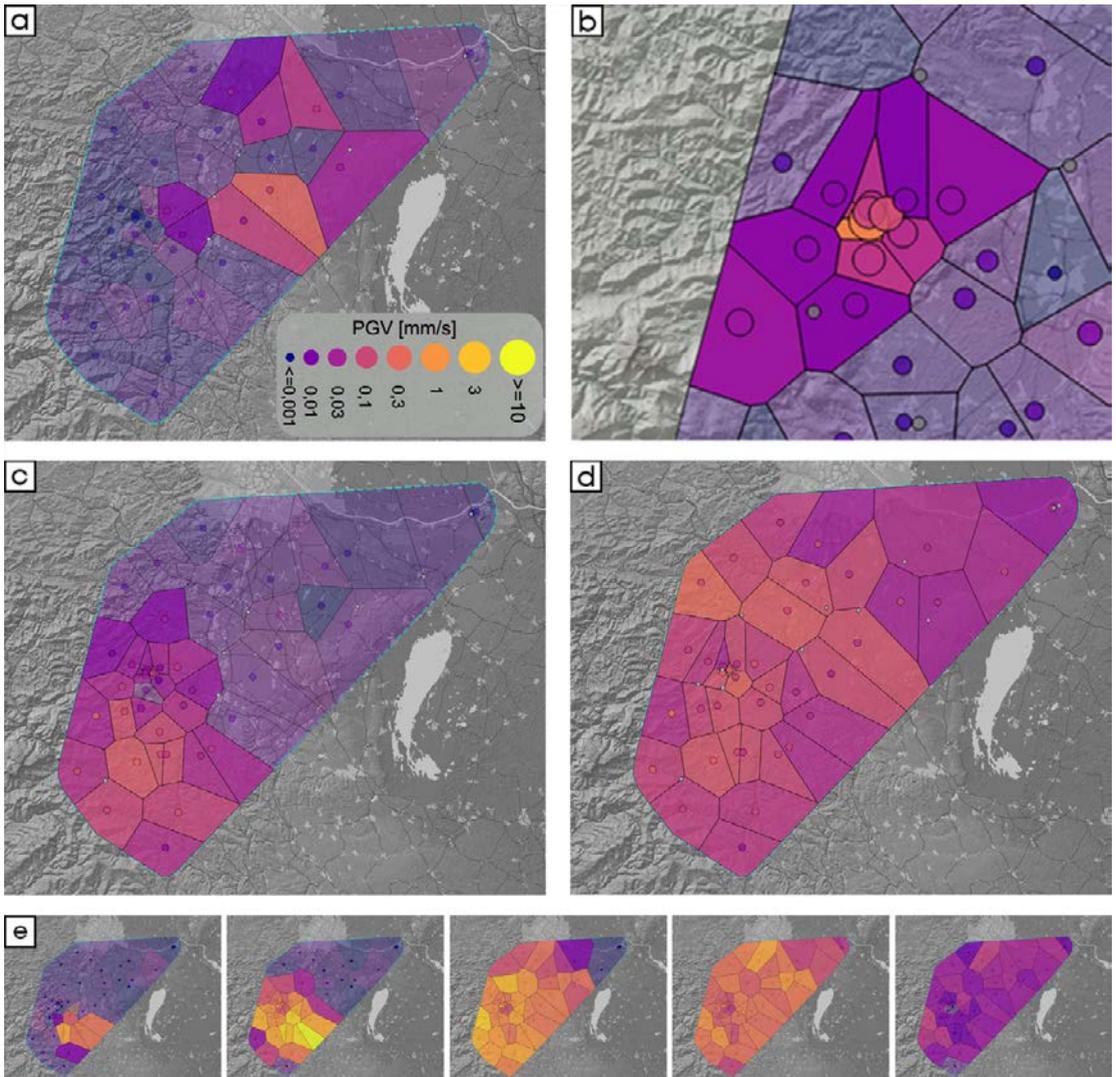


Abb. 7: Ereignisklassen seismischer Ereignisse, dargestellt über Stationsmarker und farbkodierte Voronoi-Zellen; a) zufällige Koinzidenz von lokal verstärkter Bodenunruhe; b) Steinbruchsprengung (Dürnbach, 2021-09-01 11:55 UTC); c) Erdbeben lokal (Gloggnitz, 2021-08-03 12:31 UTC); d) Erdbeben regional / fern (Admont, 2021-01-20 07:30 UTC); e) zeitlicher Verlauf eines lokalen Erdbebens (Breitenau, 2020-03-30 16:26 UTC)

Bei der Farbkodierung der Voronoi-Zellen und der Berechnung der Konturlinien korrigieren wir PGV_{event} mit dem Stationsverstärkungsfaktor SA. Die Bedeutung und Ermittlung von SA wird in Kapitel 6 im Zusammenhang mit der Modellierung der PGV-Herddistanz Beziehung besprochen. Bislang klassifizieren wir mit Hilfe der angebotenen Visualisierungen folgende Typen seismischer Ereignisse:

- zufällige Koinzidenz verstärkter lokaler Bodenunruhe

- Steinbruchsprengung (Dürnbach / Hohe Wand oder Pfaffenberg / Hundsheimer Berge)
- lokale Erdbeben (Epizentrum im Bereich des MSS-Netzes)
- Erdbeben regional / fern (Epizentrum außerhalb des MSS-Netzes)

Die Abbildungen 7a-d zeigen Beispiele für die genannten Ereignistypen in der Visualisierung durch Stationsmarker und Voronoi-Zellen. Die Verfolgung des zeitlichen Verlaufes (Abbildung 7e) kann die Klassifizierung sehr unterstützen. Wir

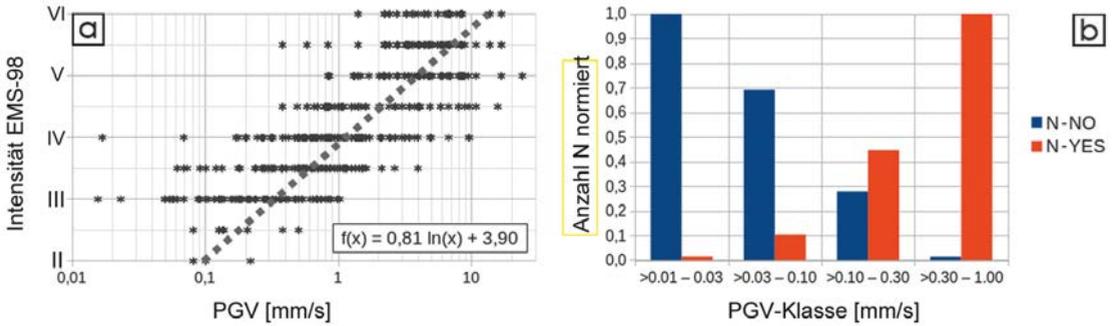


Abb. 8: Beziehung zwischen PGV und Intensität; a) Intensität EMS-98 über PGV (Abstand Intensität-Datenpunkt zu MSS-Station < 5 km); b) Festlegung der Fühlbarkeitsgrenze (Intensität II) über die Häufigkeit von Erdbeben mit Wahrnehmungsmeldung (N-YES) und dem Ausbleiben von Meldungen (N-NO) in PGV-Klassen

sind überzeugt, dass auch seismologisch nicht ausgebildete Personen rasch die Fähigkeit erlangen können, seismischen Ereignissen die genannten Typen zuzuordnen.

5. PGV und Intensität

In diesem und allen weiteren Kapiteln dieses Beitrags betrachten wir nur mehr PGV_event und verstehen unter PGV diesen Wert. Die Korrelation von PGV mit den aus Wahrnehmungsmeldungen nach EMS-98 ermittelten Intensitäten stellt ein zentrales Thema des MSS-Projektes dar. Die vielen einzelnen Meldungen werden bei der makroseismischen Bearbeitung zu einem einzigen Intensitätswert für die nächstliegende Gemeinde, einem sogenannten makroseismischen Datenpunkt, zusammengefasst und auf die Koordinaten des Gemeindeamtes bezogen. Wir erstellen PGV-Intensität Paare, wenn zu einem makroseismischen Datenpunkt im Umkreis von 5 km eine PGV-Messung einer MSS-Station vorliegt. Bisher wurden 647 Wertepaare für 19 Erdbeben im Bereich des MSS-Netzes, beginnend mit dem Erdbeben Schottwien, 17. Oktober 2017, $M_L = 3.0$ (M_L ...lokale Magnitude nach ZAMG) und abschließend mit dem Erdbeben Breitenau, 19. April 2021, $M_L = 4.4$ ermittelt.

Abbildung 8a zeigt ein Diagramm dieser Wertepaare. Es fällt auf, dass der Intensität III auch sehr niedrige PGV-Werte (bis herab zu $PGV = 0.05$ mm/s) zugeordnet wurden. Auf der anderen Seite wurde bei einigen Beben auch $PGV \sim 1$ mm/s gemessen, ohne dass es zu einer Wahrnehmungsmeldung kam. Zur Abschätzung der Fühlbarkeitsschwelle, bzw. von PGV bei der Intensität = II teilen wir PGV in 4 Klassen von >0.01 - 0.03 mm/s bis >0.30 - 1.00 mm/s. Wir

bestimmen für jede Klasse die Anzahl der PGV-Werte, bei denen es beim jeweiligen Erdbeben zu keinen Meldungen kam (N_NO) und jene, bei denen Meldungen vorliegen (N_YES). N_NO und N_YES sind in Abbildung 8b normiert auf das jeweilige Klassenmaximum dargestellt. Für die unteren beiden Klassen gilt $N_{NO} > N_{YES}$, für die beiden oberen $N_{YES} > N_{NO}$. Wir legen daher $PGV = 0.1$ mm/s als Fühlbarkeitsschwelle bzw. den Wert für Intensität = II fest. Die in Abbildung 8a eingetragene Trendlinie ist bei Intensität = II auf $PGV = 0.1$ mm/s fixiert.

Bei näherer Betrachtung von Abbildung 8a fällt auf, dass PGV von der Intensität V zur Intensität VI kaum bzw. nicht mehr ansteigt. Mit der Magnitude von Erdbeben verschiebt sich die obere Grenzfrequenz des Spektrums zu niedrigeren Werten. Es wäre daher zu prüfen, ob nicht die 4.5 Hz Eigenfrequenz der MSS-Geophone und die damit

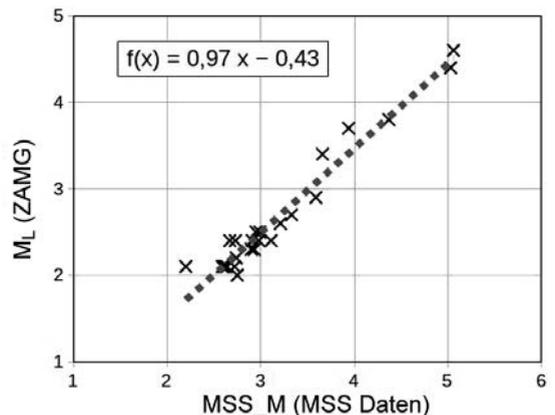


Abb. 9: Relation der Magnituden MSS_M (MSS Daten) zu M_L (ZAMG)

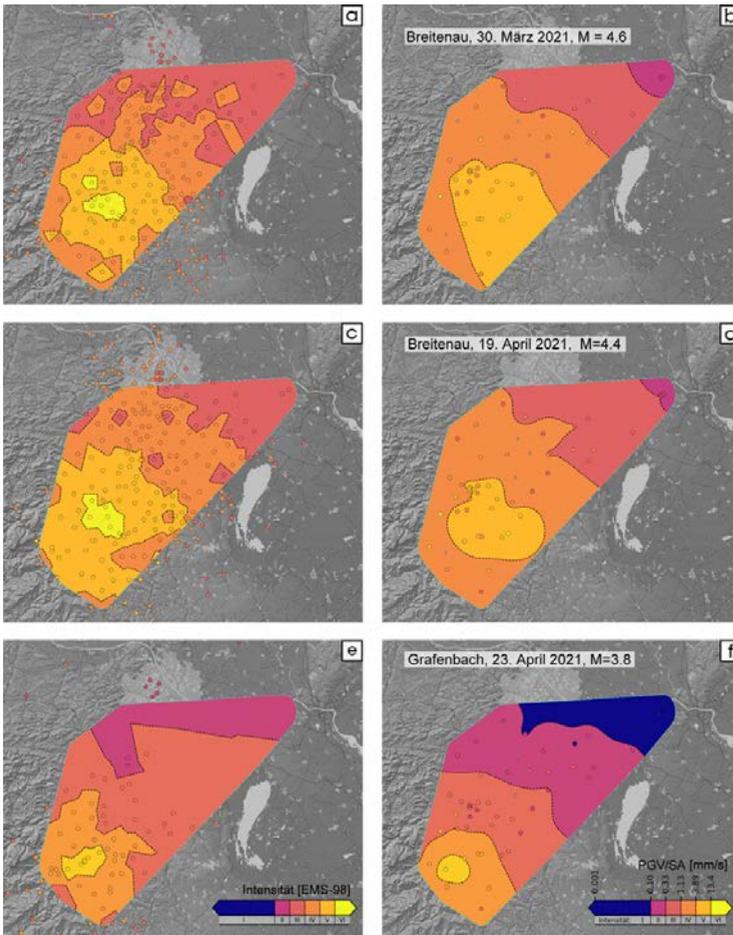


Abb. 10: Isoseisten der Erdbeben EQ1: Breitenau, 30. März 2021, $M_L = 4.6$, EQ2: Breitenau, 19. April 2021, $M_L = 4.4$ und EQ3: Grafenbach, 23. April 2021, $M_L = 3.8$; a), c), e), 'Nearest Neighbour' Interpolation der makroseismischen Datenpunkte und b), d), f) PGV/SA Konturierung (Kriging) und Zuordnung zu Intensität entsprechend der Beziehung in Abb. 8a

verbundene Hochpass-Filterung eine zu niedrige Bestimmung von PGV bedingt. In Kapitel 7 werden wir u.a. die Lokalisierung der Erdbeben im Frühjahr 2021 auf der Basis von PGV vorstellen. Damit verbunden ist auch die Berechnung der Magnitude M_{SS_M} .

In Abbildung 9 sind die lokalen Magnituden M_L , entnommen dem Bulletin der ZAMG [14] der 25 von uns ausgewählten Erdbeben der Erdbebenseerie im südlichen Wiener Becken, März – April 2021 über M_{SS_M} dargestellt. Die Trendlinie zeigt auch bei höheren Magnituden nahezu einen 1:1 Zusammenhang. Wir schließen daraus, dass das zu niedrigeren Frequenzen hin begrenzte Frequenzantwortspektrum eines M_{SS} auch bei den stärkeren Beben PGV genau erfasst. Die geringe Zunahme

von PGV bei Intensitäten $>V$ kann daher nicht der Frequenzcharakteristik des M_{SS} zugeschrieben werden. Die Verschiebung der Trendlinie um -0.43 ist überwiegend durch eine Konstante $C = -0.30$ bedingt, die von der ZAMG bei der Berechnung der lokalen Magnitude M_L eingeführt wurde und in die Berechnung von M_{SS_M} nicht aufgenommen wurde (Gl. (1) in Kapitel 6).

Im vorangegangenen Kapitel haben wir die Darstellung von PGV eines Erdbebens mittels Konturlinie angesprochen. Wegen der engen Beziehung von PGV zur Intensität ist eine Ähnlichkeit zwischen Konturlinien der Intensität (Isoseisten) und PGV Konturen zu erwarten. Während für die Erstellung der PGV Konturen Kriging angewandt wurde, stellte sich für die Isoseisten der 'Nearest Neighbour' Algorithmus als besser geeignet heraus. In Abbildung 10 sind diese beiden Konturen für die Erdbeben von Breitenau, 30. März 2021, $M_L = 4.6$, Breitenau, 19. April 2021, $M_L = 4.4$ und Grafenbach, 23. April 2021, $M_L = 3.8$ einander gegenübergestellt.

Wie der Vergleich der Isoseisten (Abbildung 10a, c, e) mit den entsprechend zugeordneten PGV/SA-Konturen (Abbildung 10b, d, f) zeigt, ergeben beide Datensätze ein ähnliches Bild. So decken sich Gebiete mit starker Erschütterung weitgehend in Lage und Ausdehnung. Die kumulativen Flächenanteile der einzelnen Intensitäten (Abbildung 11), bzw. der entsprechenden PGV/SA-Bereiche stimmen für das $M_L = 4.6$ Erdbeben nahezu perfekt überein und ergeben für die beiden anderen Beben zumindest ein ähnliches Bild. Die Flächenanteile, in denen die Erschütterungen zumindest deutlich spürbar waren (Intensität $\geq IV$), weichen voneinander um $\leq 10\%$ ab.

Die PGV-Konturen eines fühlbaren Erdbebens im Bereich des M_{SS} -Netzes sind innerhalb 1 Minute auf der M_{SS} -Homepage verfügbar. Erste

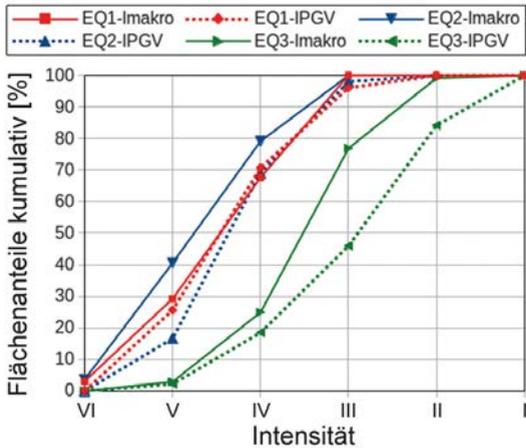


Abb. 11: kumulative Flächenanteile der Intensitäten I bis VI, ermittelt aus Makroseismik (Imakro) und MSS-Daten (IPGV) für EQ1, EQ2 und EQ3 (siehe Abbildung 10)

Wahrnehmungsmeldungen langen ebenfalls in diesem Zeitintervall an der ZAMG, der Landeswarnzentrale, oder Gemeindeämtern ein und können mit den über die MSS-Homepage bereitgestellten Informationen in Beziehung gebracht und möglicherweise besser bewertet werden.

6. Modellierung der Entfernungabhängigkeit von PGV und der P-Wellen Laufzeit Tp

Beginnend mit dem Erdbeben Schottwien, 17. Oktober 2017, bis zum Erdbeben Wiener Neustadt, 31. Mai 2021, wurde für insgesamt 90 Erdbeben mit dem Programm SeisGram und den 100 Hz Zeitreihen der Ereignisse interaktiv ein Datensatz für PGV und die P-Wellen Laufzeit Tp erstellt. Im Folgenden stellen wir eine sehr einfache, aber effektive Modellierung der Abhängigkeiten von PGV und Tp von der Hypozentraldistanz vor. Die Herdkoordinaten [Länge, Breite, Herdtiefe] entsprechen den Lokalisierungen der ZAMG [14].

PGV-Distanz Modell:

$$PGV_{e,i} = A0_e \cdot r_{e,i}^{expo} \cdot SA_i \tag{1}$$

$$\log 10(PGV_{e,i}) = \log 10(A0_e) + expo \cdot \log 10(r_{e,i}) + \log 10(SA_i) \tag{2}$$

Tp-Distanz Modell:

$$Tp_{e,i} = T0_e + 1/Vp \cdot r_{e,i} + SDp_i \tag{3}$$

PGV_{e,i} PGV des Erdbebens e, gemessen an der Station i

A0_e Quellstärke des Erdbebens e

r_{e,i} Hypozentraldistanz von Erdbeben e zu MSS-Station i

expo Exponent im PGV-Distanz Modell

SA_i Stationsverstärkungsfaktor der MSS-Station i

Tp_{e,i} P-Wellen Laufzeit von Hypozentrum e zu Station i

T0_e Herdzeit des Erdbebens e

Vp Longitudinalwellengeschwindigkeit

SDp_i lokale Verzögerung der P-Wellen Ankunft bei Station i

Der Berechnung von SA_i liegt als erster Schritt die Schätzung des Quotienten SA_{i1}/SA_{i2} mittels der aus Gl. (1) folgenden Gl. (4) zugrunde [15].

$$SA_{i1}/SA_{i2} = \text{MITTELWERT} (PGV_{e,i1}/PGV_{e,i2} \cdot (r_{e,i2}/r_{e,i1})^{expo}) \tag{4}$$

Die Indizes i1 und i2 überdecken dabei alle Kombinationen unter den MSS-Stationen. Die Bildung des Mittelwerts erfolgt über alle Erdbeben (Index e). Der Logarithmus von Gl. (4) bildet ein lineares Gleichungssystem, das unter der zusätzlichen Bedingung SUMME(log10(SA_i)) = 0 nach den einzelnen log10(SA_i) und damit auch SA_i aufgelöst werden kann. Die Berechnung von SDp_i erfolgt analog, entsprechend der formalen Ähnlichkeit von Gl. (2) und (3).

Weiter berechnen wir eine Magnitude MSS_M und die Herdzeit T0 für jedes Erdbeben nach den Gl. (5) und (6).

$$MSS_M_e = \text{MITTELWERT} (\log 10(PGV_{e,i}) - expo \cdot \log 10(r_{e,i}) - \log 10(SA_i)) \tag{5}$$

$$T0_e = \text{MITTELWERT} (Tp_{e,i} - 1/Vp \cdot r_{e,i} - SDp_i) \tag{6}$$

Die Einheiten in Gl. (5) sind [nm/s] für PGV und [°] für die Hypozentraldistanz r. Die Bildung des Mittelwerts erfolgt über den Index i.

Abbildung 12 zeigt die PGV- und Tp-Distanz-Daten sowie die entsprechenden Fehlerverteilungen bezogen auf die Modelle nach Gl. (2) und (3). PGV ist hierbei auf MSS_M = 3.0 und Tp auf T0 = 0 bezogen. Die durch die Anwendung der Korrekturen SA und SDp erzielbare Reduktion der Streuung gegenüber den Modellen wurde durch die Variation von expo und Vp erfasst. Als optimierte Werte wurden expo = -2.1 und Vp = 5800 m/s gewählt. Uneingeschränkt wäre dieser Methode der Vorzug zu geben, wenn die Epizentren der Erdbeben gleichmäßig über das gesamte MSS-

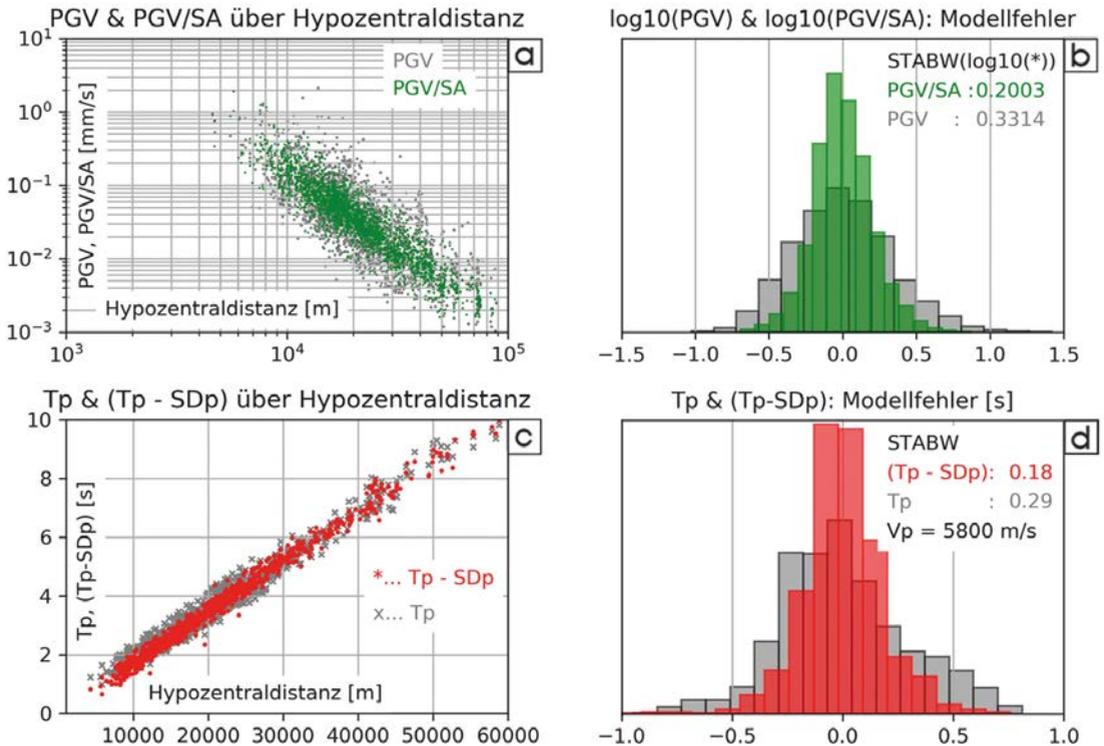


Abb. 12: PGV- und T_p -Modelle; a) PGV und PGV/SA über Herddistanz, c) T_p und $(T_p - SD_p)$ über Herddistanz; b) und d) Fehlerverteilungen zu a) und c)

Netz verteilt wären. Sind jedoch im extremen Fall alle Epizentren am selben Ort, könnten die Daten allein mit SA_i und SD_p beschrieben werden, wobei $expo = 0$ und $V_p = \infty$ gesetzt werden kann. Aktuell häufen sich die Bebenherde in der südlichen Hälfte des MSS-Netzes. Bei der Festlegung der Parameter $expo$ und V_p fanden daher die Streuungen sowohl von PGV/SA und $(T_p - SD_p)$, als auch PGV und T_p um die jeweiligen Modellwerte Berücksichtigung.

7. Lokalisierung der Erdbebenserie März-April 2021 im südlichen Wiener Becken

In [1] haben wir zwei Methoden zur Lokalisierung von Erdbeben, basierend auf Amplituden und vier klassische, basierend auf den Laufzeiten der P- und S-Wellen, bzw. deren Laufzeitdifferenz vorgestellt. Die Nutzung der Amplituden erscheint für das MSS-Projekt besonders attraktiv, da diese Information einschließlich der für die Lokalisierung erforderlichen Geometrieinformation (Länge, Breite, Höhe der MSS-Stationen) und der Ver-

Datensatz	Name	Suche des Hypozentrums in 3D-Grid [k,l,m] als:	Referenz
PGV	Kanamori	MIN STABW($\log_{10}(A_{0,i})$)	[16]
PGV	Apollonius	MAX Superposition: Apollonius Kreise	[15]
T_p	Geiger	MIN STABW($T_{0,i}$)	[17]
T_p	Hyperbola	MAX Superposition: $(T_{p_i} - T_{p_j}) \cdot V_p$ Hyperbeln	[18]
$T_s - T_p$	Hopkins	MIN ABS($T_{0,i}$)	[19]
$T_s - T_p$	PS-Circle	MAX Superposition: $(T_{s_i} - T_{p_i}) \cdot V_{sp}$ Kreise	[20]

Tab. 1: Im Rahmen des MSS-Projektes realisierte Methoden der Lokalisierung

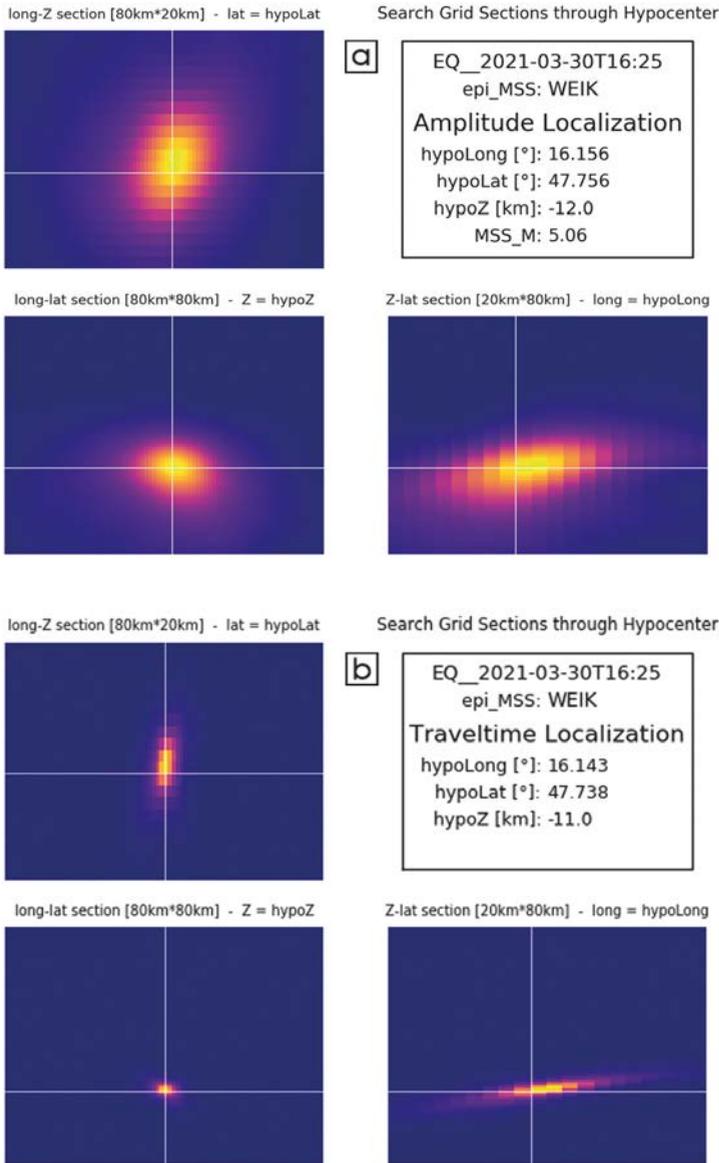


Abb. 13: Lokalisierung des Bebens von Breitenau, 2021-03-30 16:25 UTC über a) PGV/SA mit der Kanamori & Apollonius Methode und b) ($T_p - S D_p$) mit der Geiger & Hyperbola Methode; gezeigt sind in a) und b) drei orthogonale Schnitte durch den Such-Raster in der Lage des Hypozentrums

stärkungsfaktoren SA von der MSS-Homepage heruntergeladen werden kann (siehe Archiv / Zusatzdaten / PGV-Stationsmarker). Tabelle 1 gibt einen Überblick über alle sechs Methoden. Sie basieren auf der Suche des Hypozentrums als MIN oder MAX einer Zielgröße in einem 3D-Grid.

Die Größen $\log_{10}(A_0)$ und T_0 werden für alle Rasterpunkte [k, l, m] des 3D-Grids als mögliche Erdbebenherde und alle Stationen i aus

PGV_i, bzw. T_{p_i} über Gl. (2) und (3) berechnet. Apollonius Kreise bzw. Kugelflächen sind durch das Verhältnis PGV_i / PGV_j an den Stationen i und j gegeben. Die Laufzeitdifferenzen der P-Wellen ($T_{p_i} - T_{p_j}$) an den Stationen i und j definieren nach der Multiplikation mit V_p Hyperboloide als Orte möglicher Hypozentren. Die Laufzeitdifferenzen ($T_{s_i} - T_{p_i}$) multipliziert mit der aus diesen Laufzeitdifferenzen folgenden Geschwindigkeit V_{sp} definieren Kreise bzw. Kugelflächen um die Stationen i als Orte möglicher Hypozentren. Die geometrischen Methoden sind an 1D Modelle für die Beschreibung der Entfernungsabhängigkeit von Amplitude und Laufzeit gebunden. Die Methoden Apollonius und Hyperbola benötigen darüber hinaus konstante Parameter $expo$ und V_p entsprechend Gl. (1) und (3). Die Methoden Kanamori, Geiger und Hopkins könnten prinzipiell auf 3D Modelle für die Entfernungsabhängigkeit von Amplituden und Laufzeiten erweitert werden. Das frei verfügbare Programmpaket NonLinLoc [12] ist hinsichtlich Laufzeiten hierfür ein Beispiel.

Die in Tabelle 1 angeführten und im Rahmen des MSS-Projektes umgesetzten Lokalisierungsmethoden stellen eine bewusst auf leichte Verständlichkeit und Programmierung ausgerichtete Auswahl dar. Es erscheint dennoch interessant, Lokalisierungen auf Basis der Daten des MSS-Netzes und der beschriebenen einfachen

Methoden mit den, dem „state of the art“ gerecht werdenden Lokalisierungen der ZAMG zu vergleichen. Die Erdbebenserie März-April 2021 im südlichen Wiener Becken bietet dafür hervorragende Daten.

Aus der genannten Erdbebenserie wählen wir die 5 stärksten Erdbeben ($3.4 \leq M_L \leq 4.6$) und 20 weitere Erdbeben mit Magnituden $M_L \geq 2.0$ aus. Die Amplitudendaten (PGV) für diese Erdbeben

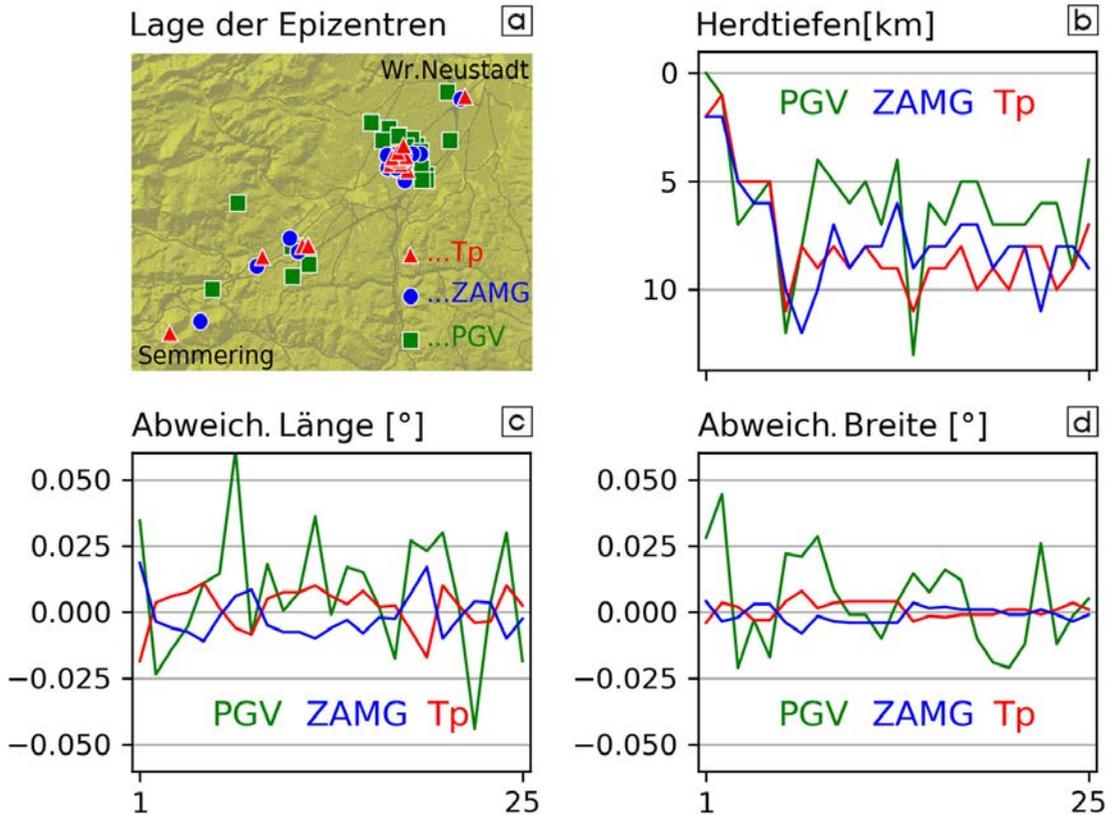


Abb. 14: Vergleich der Lokalisierungen von 25 Erdbeben der Serie März – April 2021 im südlichen Wiener Becken mit den Methoden Kanamori & Apollonius (PGV), Geiger & Hyperbola (Tp) und der ZAMG. Die Abweichungen in Länge und Breite sind auf die Mittelwerte von Tp und ZAMG bezogen.

wurden über die MSS-Homepage heruntergeladen. Die Laufzeitdaten (Tp) wurden – wie in Kapitel 6 bereits beschrieben – von den 100 Hz MSEED Dateien mittels SeisGram manuell abgelesen. Wir lokalisieren die 25 Erdbeben der Serie mit den Amplituden basierten Methoden Kanamori und Apollonius (PGV bzw. PGV/SA) sowie den Laufzeit basierten Methoden Geiger und Hyperbola (Tp bzw. Tp – SDp). Entsprechend Kapitel 6 gilt für den Amplitudenparameter $expo = -2.1$ und den Laufzeit-Parameter $Vp = 5800$ m/s.

Die beiden Amplituden- und Laufzeit-Methoden werden kombiniert, indem die Zielgrößen an den Rasterpunkten des 3D-Grids nach Apollonius bzw. Hyperbola durch das Quadrat der Raster-Werte nach Kanamori bzw. Geiger dividiert werden. Bei Daten, die exakt den Modellen nach Gl. (1) und (3) entsprechen, würden die Maximalwerte des Apollonius bzw. Hyperbola Grids exakt mit den Minimalwerten des Kanamori bzw. Geiger Grids zusammentreffen. Die beiden geometrischen

Methoden (Apollonius und Hyperbola) gewichten jedoch die Daten anders als die MIN(STABW) Methoden (Kanamori und Geiger), sodass bei Abweichungen der Daten vom Modell die ermittelten Hypozentren differieren. Die Kombination in der beschriebenen Form erscheint gerechtfertigt, solange dadurch nicht zwei oder mehrere Extrema entstehen. Abbildung 13 zeigt jeweils 3 orthogonale Schnitte durch den Suchrastrer in der Lage des Hypozentrums nach Apollonius & Kanamori und Hyperbola & Geiger. Beide Verfahren ergeben ein eindeutiges Maximum, die unterschiedliche Auflösung der auf Amplituden bzw. Laufzeiten basierten Methoden ist jedoch klar erkennbar.

Die Lage der Epizentren und gegenseitigen Abweichungen in Länge, Breite und Herdtiefe, ermittelt mit den Methoden Kanamori & Apollonius, Geiger & Hyperbola und den Lokalisierungen der ZAMG sind in Abbildung 14 dargestellt. Auf eine seismo-tektonische Interpretation verzichten wir hier und betrachten lediglich die aus diesen

	gegenseitiger Abstand der Epizentren [km]			Differenz der Herdtiefen [km]		
	PGV-Tp	PGV-ZAMG	Tp-ZAMG	PGV-Tp	PGV-ZAMG	Tp-ZAMG
MEDIAN	2.1	2.2	1.2	-2.0	-2.0	0.5
MITTELWERT	2.3	2.4	1.2	-1.8	-1.6	0.2
STABW	1.4	1.3	0.6	2.1	2.3	1.7

Tab. 2: Erdbebenserie März – April 2021 im Wiener Becken; gegenseitige Differenzen von Epizentren und Herdtiefen, ermittelt mit Apollonius & Kanamori (PGV), Geiger & Hyperbola (Tp) und nach ZAMG

Ergebnissen ableitbaren, mittleren Lokalisierungsfehler der drei Methoden. Klar erkennbar ist die wesentlich größere räumliche Streuung der Epizentren bestimmt mit der Amplituden basierten Methode Kanamori & Apollonius gegenüber den Laufzeit basierten Methoden Geiger & Hyperbola und ZAMG. In Tabelle 2 sind Median, Mittelwert und Standardabweichung der gegenseitigen Abstände der Epizentren und Differenzen der Herdtiefen zusammengestellt. Für die Methoden Geiger & Hyperbola (Tp) und ZAMG können aus diesen Daten Fehler in der Lage des Epizentrums von 1 km und in der Herdtiefe von ± 1.5 km abgeschätzt werden. Der Lagefehler der Methode Kanamori & Apollonius (PGV) liegt bei 2.0 bis 2.5 km. Die Herdtiefen nach Kanamori & Apollonius sind um den Faktor 0.8 geringer im Vergleich zu Geiger & Hyperbola und der ZAMG. Mit einer entsprechenden Korrektur beträgt der Fehler in der Herdtiefe ± 2.5 km. Eine schlüssige Erklärung für die systematische Abweichung der auf Amplituden basierten Herdtiefen (Kanamori & Apollonius) gegenüber den Laufzeit basierten Herdtiefen (Geiger & Hyperbola und ZAMG) konnten wir bislang nicht finden.

8. Monitoring von Sprengerschütterungen

Die wirtschaftliche Produktion von Massenrohstoff in Steinbrüchen erfordert Sprengungen, die festes Gestein mit einem Volumen in der Größenordnung von 10^4 m^3 zu einem transportierbaren und zur weiteren Verarbeitung geeigneten Haufwerk verwandeln. In benachbarten Gebäuden zulässige Sprengerschütterungen sind in der ÖNORM S 9020 geregelt und Sprengschemata werden daraufhin dimensioniert. Obwohl gelegentlich durch Gutachter*innen und routinemäßig auch vom jeweiligen Betrieb Messungen vorgenommen werden, haben Anrainer*innen, Bürgermeister*innen und z.T. auch der Steinbruchbetreiber selbst Interesse daran gefunden, die Sprengerschütterungen im Umfeld eines Steinbruchs mit dem MSS-Netz kontinuierlich,

in Nahe-Echtzeit und öffentlich zugänglich zu erfassen. Entsprechend dem implementierten Trigger-Kriterium (Kapitel 4.2) müssen mindestens 3 MSS-Stationen im Nahbereich des Steinbruchs in Funktion sein, damit die automatische Detektion und Archivierung auf der MSS-Homepage gewährleistet ist. Bislang ist diese Voraussetzung bei den Steinbrüchen Dürnbach / Hohe Wand und Pfaffenberg / Hundsheimer Berge (Abbildung 15a, c) gegeben.

Nach der Detektion und Archivierung einer Sprengung in den Steinbrüchen Dürnbach oder Pfaffenberg als seismisches Ereignis treffen wir – derzeit noch interaktiv – die Klassifikation „Sprengung im Steinbruch Dürnbach/Pfaffenberg“. Danach können die entsprechenden Daten und Visualisierungen vom Archiv der MSS-Homepage aufgerufen werden. Außerdem berechnen wir die Magnitude MSS_M der Sprengung nach Gl. (4). Den Ort der Sprengung schätzen wir mit der Lokalisierungsmethode nach Kanamori & Apollonius, wobei sich der grid search auf einen 2D-Raster in der Ausdehnung des jeweiligen aktiven Abbaubereiches und dessen mittlere Höhe beschränkt. Den zeitlichen Ablauf von PGV an benachbarten Stationen, sowie MSS_M führen wir in Diagrammen für Dürnbach und Pfaffenberg nach und stellen diese Daten Interessent*innen monatlich zu Verfügung (Abbildung 15b, d).

Für die Anrainer*innen, die Sprengerschütterungen deutlich spüren, sind die an den jeweiligen MSS-Stationen gemessenen Schwinggeschwindigkeiten, im Speziellen PGV von besonderem Interesse. Nach der ÖNORM S 9020 „Erschütterungsschutz für ober- und unterirdische Anlagen“ werden resultierende Schwinggeschwindigkeiten $VR \leq 2.5 \text{ mm/s}$ als bautechnisch irrelevant angesehen. PGV, gemessen mit einem MSS an einer tragenden Wand, kann mit hinreichender Genauigkeit (Fehler $< 10\%$) zur Schätzung von VR, gemessen mit einem exakt der Norm entsprechenden Gerät, herangezogen werden [21].

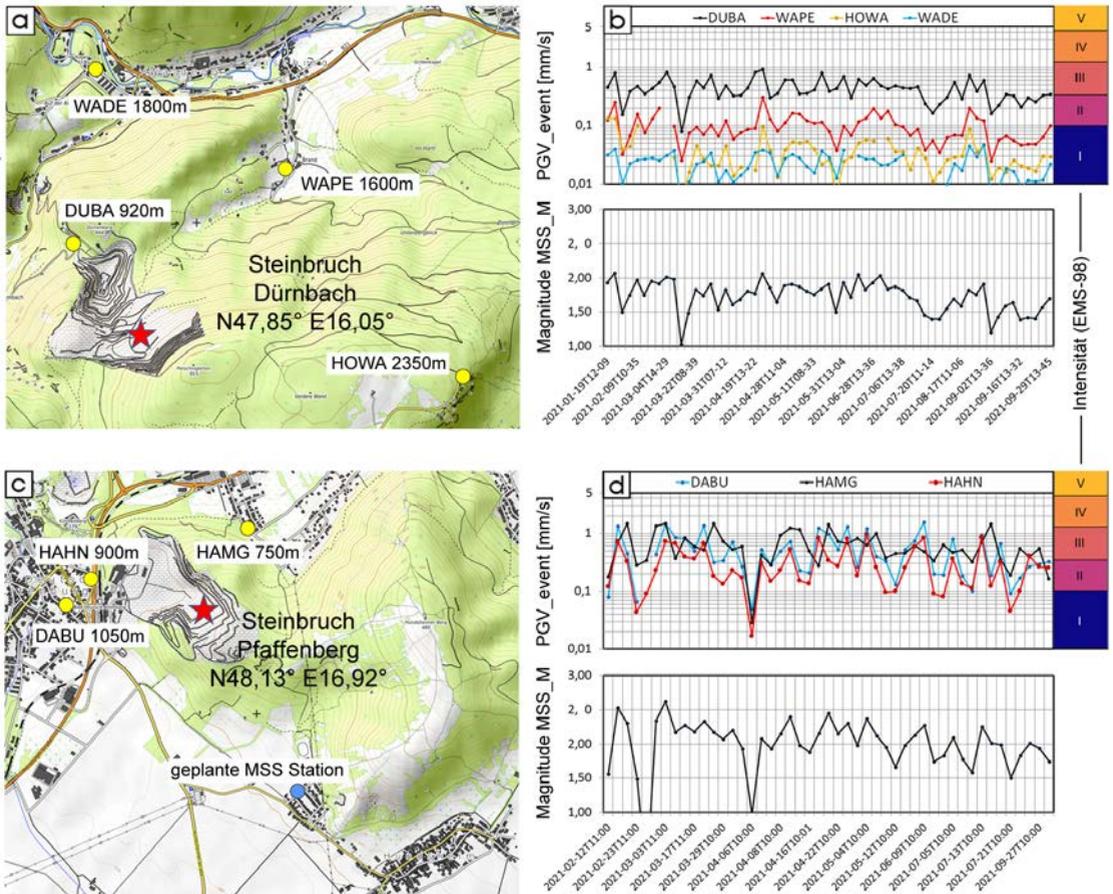


Abb. 15: Monitoring von Sprengerschütterungen mit Stationen des MSS-Netzes; a) und c) nächste MSS-Stationen mit Entfernung zu mittleren Sprengorten (rote Sterne) der Steinbrüche Dürrnbach (Hohe Wand) und Pfaffenberg (Hundsheimer Berge); b) und d) zeitliche Verläufe von MSS_M und PGV der nächstliegenden MSS-Stationen

PGV < 2.5 mm/s sollte unbedingt eingehalten werden. Die Korrelation von PGV mit der Intensität nach EMS-98 (Abbildung 8a) ergab, dass Erdbeben ab PGV = 1.1 mm/s bereits die Intensität IV zugeordnet wird. Dies deckt sich mit Meldungen von Anrainern des Steinbruchs Pfaffenberg, die Sprengerschütterungen ab PGV \sim 1 mm/s als deutlich fühlbar, und eventuell mit Fensterklirren oder Türwackeln verbunden, schildern. Die Sorge um die Unversehrtheit des eigenen Hauses wird daher verständlich, auch wenn diese bautechnisch nicht begründet ist. Das Bemühen des Steinbruchbetreibers, mit Sprengerschütterungen möglichst wenig in den Bereich der Intensität IV zu gelangen, unterstützt sicher deren Akzeptanz durch betroffene Anrainerninnen.

Neben der Bestimmung von PGV einer Sprengung, beobachtet an den einzelnen MSS-Stationen, ist die Ermittlung deren Quellstärke A_0 (Gl. 1),

bzw. der Magnitude (MSS_M) sinnvoll. Zum einen erlaubt deren Kenntnis die Abschätzung von PGV im gesamten Umfeld mittels Gl. (1), zum anderen stellen diese Größen ein Maß dar, das zur Optimierung von Sprengerschemata hinsichtlich der Minderung von Sprengerschütterungen herangezogen werden kann.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Dem Macroseismic Sensor (MSS) Projekt liegt die Motivation zugrunde, Personen nach der Wahrnehmung von Erschütterungen rasch Auskunft geben zu können, ob es sich hierbei um ein Erdbeben, eventuell eine Sprengung oder nur eine örtliche, in der Reichweite sehr begrenzte seismische Quelle handelt. Wir haben versucht, diesem Ziel durch den Aufbau eines low-cost Sensor Netzes (MSS-Netz) und die Nahe-Echtzeit Visualisierung der Daten im Internet über die

MSS-Homepage (<https://www.macroseismicssensor.at/>) möglichst nahe zu kommen. Das MSS-Netz ist auf das südliche Wiener Becken und sein nahes Umfeld in Niederösterreich beschränkt und umfasst im Oktober 2021 51 MSS-Stationen. Als Maß für die aktuelle seismische Aktivität an den einzelnen Stationen wählten wir PGV (Peak Ground Velocity), den Maximalwert der Horizontalgeschwindigkeit über ein definiertes Zeitintervall. PGV wird auf einer Karte durch Stationsmarker visualisiert und kann an ausgewählten Stationen als Zeitreihe 10 Minuten lang beobachtet werden. Ein spezieller Detektionsalgorithmus gewährleistet die Speicherung seismischer Ereignisse, denen im Gebiet des MSS-Netzes fühlbare Erdbeben zugeordnet werden könnten, ohne jedoch zu häufig unkorrelierte seismische Störsignale zu detektieren. Nach weniger als einer Minute ab Beginn des Ereignisses können kartographische Visualisierungen der PGV-Werte in der Form von Symbolen, farbcodierten Voronoi-Zellen des Stationsnetzes oder PGV-Konturlinien aus einem Online-Archiv abgerufen werden. Nach einiger Befassung mit der MSS-Homepage sollte es allen interessierten Personen möglich sein, mit Hilfe der angebotenen Visualisierungen die zu Beginn der Einleitung (Kapitel 1) genannten Fragen zumindest teilweise zu beantworten.

Im Frühjahr 2021 wurde das südliche Wiener Becken ungewöhnlich häufig von zum Teil stark fühlbaren Erdbeben erschüttert. Die dabei gewonnenen neuen Daten erweiterten unsere Zuordnungen von PGV zu Intensitäten nach EMS-98 wesentlich. Die auf dieser soliden Datenbasis beruhende Beziehung zwischen PGV, gemessen an den MSS-Stationen, und der makroseismischen Intensität erachten wir als das wichtigste seismologische Ergebnis des MSS-Projektes. Weiters modellierten wir die Abhängigkeit von PGV und der P-Wellen Laufzeit T_p von der Hypozentraldistanz. Ortsspezifische Stationskorrekturen spielten dabei eine wesentliche Rolle. Schließlich nutzten wir die PGV- und T_p -Datensätze zur Lokalisierung der jüngsten, fühlbaren Erdbeben im südlichen Wiener Becken. Die Lokalisierungen über T_p sind hinsichtlich ihrer Genauigkeit vergleichbar mit den Lokalisierungen durch den Erdbebendienst der ZAMG. Die Lokalisierung über PGV führte auch zur Berechnung der Magnitude M_{SS_M} , die in einem hoch korrelierten, linearen Zusammenhang mit der Magnitude M_L , angegeben von der ZAMG, steht.

Im Sinne von Citizen Science erfolgte der Aufbau des MSS-Netzes mit wesentlicher Unterstützung aus den Bereichen von Schulen, der Politik und öffentlichen Verwaltung, des Zivilschutzes, der Industrie, sowie engagierter Privatpersonen. In der niederösterreichischen Landeswarnzentrale in Tulln leistet das MSS-Netz über die Integration in deren Infoscreen einen Beitrag zur Meldung aktuell möglicher Gefahren. Besondere Bedeutung haben die Daten des MSS-Netzes und deren Visualisierungen auf der MSS-Homepage für das Monitoring von Steinbruchsprengungen sowohl für Anrainer*innen als auch für Steinbruchbetreiber gewonnen.

Trotz der angesprochenen Wahrnehmung des MSS-Projektes und insbesondere der MSS-Homepage können wir mit der bisher erreichten Außenwirkung noch nicht zufrieden sein. Folgende Aktionen stehen für uns als nächstes auf dem Programm:

- Von den bisher 51 installierten MSS-Stationen befinden sich 37 in Gemeindeämtern. Ein Link von deren Websites zur neuen MSS-Homepage könnte für etliche Gemeinden im Sinne von Citizen Science attraktiv erscheinen.
- Die MSS-Homepage ermöglicht eine sehr lebendige und intuitiv verständliche Wahrnehmung der seismischen Aktivität. Lehrpersonen aus den unterschiedlichsten Fachbereichen sollten daher mit den Möglichkeiten der MSS-Homepage im Bildungsbereich vertraut gemacht werden.
- Das MSS-Projekt begann 2014 im Rahmen von „QuakeWatch Austria“ gemeinsam mit der Entwicklung einer neuen App zum raschen Melden von Erdbebenwahrnehmungen über ein Handy. Mittlerweile wurde diese Entwicklung unter der Leitung der ZAMG abgeschlossen und die App steht der Bevölkerung zur Verfügung. (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/geophysik/forschung-erdbeben/quake-watch>). Die MSS-Homepage ermöglicht die rasche Information über aktuelle seismische Ereignisse an Bürgerinnen und Bürger. Über die App bzw. das online-Wahrnehmungsformular auf der Homepage der ZAMG hingegen können Informationen aus derselben Personengruppe zurück an den seismologischen Dienst fließen. Es liegt nahe diesen in beide Richtungen möglichen Informationsfluss als sich gegenseitig ergänzend für interessierte Personen im Internet auf den entsprechenden Homepages sichtbar zu machen.

Schlussendlich hoffen wir, dass die vorliegende Arbeit zu einer Wahrnehmung des MSS-Projektes im Bereich der Geodäsie und Geoinformation beiträgt. Wir danken der vgi-Schriftleitung uns diese Gelegenheit gegeben zu haben.

Danksagung

Die Entwicklung des Macroseismic Sensors erfolgte in Kooperation mit Lehrern und Schülern des TGM (HTL Technologisches Gewerbemuseum, Wien) und wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Naturhistorischen Museum, Wien finanziert. Förderungen des Landes Niederösterreich ermöglichten den Auf- und Ausbau des Macroseismic Sensor Netzes gemeinsam mit Lehrern und Schülern der HTL Wiener Neustadt. Weitere finanzielle und logistische Unterstützung kam von der Baumit GmbH. Die aktuelle Visualisierung im Internet wurde von der Förderaktion netidee im Rahmen des Projekts MSS Outreach ermöglicht. Die kartographischen Darstellungen beruhen auf der Verwendung von OpenStreetMap (www.openstreetmap.org, © OpenStreetMap-Contributors), OE3D (www.oe3d.at, © Rechenraum e.U.) und BEV (www.bev.gv.at, © BEV 2020). Besonders danken wir Personen des öffentlichen Lebens, in Gemeinde- und Schulverwaltung, sowie engagierten Privatpersonen für ihre Unterstützung in ideeller, organisatorischer und sachlicher Hinsicht.

Referenzen

- [1] Brückl E, Carniel P, Mertl S, Meurers R. (2021): Seismological Data Acquisition and Analysis within the Scope of Citizen Science in Earthquakes – From Tectonics to Buildings, Editor W. Salazar, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.95273, <https://www.intechopen.com/chapters/74466>
- [2] Brückl E, Köberl C, Lenhardt W, Mertl S, Rafeiner-Magor W, Stark A, Stickler G, Weber R. (2015): Scientific goals of SCHOOLS & QUAKES. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-3401-4, EGU General Assembly 2015
- [3] Lenhardt W. (2016): QuakeWatch Austria. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/geophysik/forschung-erdbeben/quake-watch>, [zugegriffen 2021-10-10]
- [4] Cochran ES, Lawrence J, Christensen C, Jakka RS. (2009): The Quake-Catcher Network: Citizen science expanding seismic horizons. Seismological Research Letters, 2009, 80:1, 26–30, DOI: 10.1785/gssrl.80.1.26
- [5] Anthony RE, Ringler AT, Wilson DC, Wolin E. (2018): Do low-cost seismographs perform well enough for your network? An overview of laboratory tests and field observations of the OSOP Raspberry Shake 4D. Seismological Research Letters, 2018, 90:1, 219–228, DOI:10.1785/02200220180251
- [6] Allen PA, Allen JR. (1990): Basin Analysis Principles and Applications, Oxford. Blackwell Science, 1990, 451 p; ISBN 0-632-02422
- [7] Ratschbacher L, Frisch W, Linzer H-G, Merle O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural analysis. Tectonics, 1991, 10:2, 257–271.

- [8] Umnig E, Brückl E, Maras J, Weber R. (2015): Monitoring Tectonic Processes in Eastern Austria based on GNSS-derived site velocities. Vermessung & Geoinformation 2015/2+3, 198 – 207.
- [9] AEC (2021): Austrian Earthquake Catalogue, Computer-Datei. Erdbebendienst der ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- [10] Antelope – Environmental Monitoring Software. <https://kinemetrics.com/wp-content/uploads/2017/04/datasheet-software-antelope.pdf>, [zugegriffen 2021-10-10]
- [11] Lomax A. (2014): SeisGram2K Seismogram Viewer, <http://alomax.free.fr/seisgram/SeisGram2K.html>, [zugegriffen 2021-10-10]
- [12] Lomax A. (2017): NonLinLoc-Probabilistic, non-linear, global-search earthquake location in 3D media. <http://alomax.free.fr/nlloc/> [zugegriffen: 2021-10-10]
- [13] Krischer et al. (2015): ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem, Comput. Sci. Discov. 8 014003
- [14] Bulletin ZAMG (2021): Preliminary Bulletin of Regional and Teleseismic Events Recorded with ZAMG-Stations in Austria. Erdbebendienst der ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- [15] Brückl E. (2019): Graphical Location of Seismic Sources Based on Amplitude Ratios. Seismological Research Letters, 2019; 90:22, 784–789. DOI: 10.1785/0220180216
- [16] Kanamori H. (1993): Locating earthquakes with amplitude: Application to real-time seismology. Bull. Seismol. Soc. Am. 1993; 83, 264–268
- [17] Geiger L. (1912): Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only. Bull. St. Louis Univ. 1912; 8, 60-71
- [18] Mohorovičić A. (1916): Die Bestimmung des Epizentrums eines Nahbebens. Gerlands Beitr. zur Geophysik, 1916; 14, 199-20
- [19] Hopkins W. (1848): Report on the geological theories of elevation and earthquakes. Report of the British Association for the Advancement Of Science, 1848; 21, 33–92
- [20] Richter Ch. (1958): Elementary Seismology. W.H. Freeman and Co. San Francisco, 1958, p. 768
- [21] Brückl E, Filz K, Hochwartner R, Mertl S, Stickler G, Zöhling S. (2019): Monitoring von Sprengerschütterungen mit seismischen „low-cost“ Sensoren. BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 2019; 164:10, 431-437. DOI: 10.1007/s00501-019-00892-z

Anschrift der Autoren

Em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Ewald Brückl, Department für Geodäsie und Geoinformation, Technische Universität Wien, Wiedner Hauptstraße 8, 1040 Wien.

E-mail: Ewald.Brueckl@geo.tuwien.ac.at

Ing. Peter Carniel, Sandleitengasse 9-13/2/18, 1160 Wien
E-mail: peter.carniel@utanet.at

Dr. Stefan Mertl, Mertl Research GmbH, Kienmayergasse 22, c/o Adhocpad Coworking Space, 1140 Wien.
E-Mail: stefan@mertl-research.at

Mag. Rita Meurers, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1190 Wien.

E-Mail: rita.meurers@zamg.ac.at

Dissertationen, Diplom- und Magisterarbeiten

Simulation of VLBI Intensive Sessions for the Estimation of UT1

Lisa Kern

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Technische Universität Wien, 2021

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johannes Böhm

Very Long Baseline Interferometry (VLBI) is the only space geodetic technique capable of estimating all five Earth orientation parameters (EOP) and the International Celestial Reference Frame (ICRF). The measurement principle includes globally distributed radio telescopes observing quasars, thereby deriving the difference in arrival time as the primary observable. In addition to 24 hour sessions, which often involve several VLBI stations, so-called Intensive sessions are observed. These one hour long sessions include only two or three stations and the sole purpose is the determination of Universal Time UT1 with respect to UTC (dUT1) with a short latency, which is required for positioning and navigation purposes. In this study, the scheduling software *VieSched++* is used to test the suitability of certain Intensive baselines and networks for the determination of dUT1 in Monte Carlo simulations.

The first part of this study deals with possible baselines between existing stations of the VLBI Global Observing System (VGOS) and the Very Long Baseline Array (VLBA). The target is to find the optimal baselines between two and three stations and to assess different session durations in the range from one to four hours. For VGOS, the baseline ISHIOKA to WESTFORD or GGAO12M would deliver the best estimates of dUT1, about 15 % better than the actually observed Intensive session between WETTZ13S and KOKEE12M. For VLBA, the baseline MAUNA KEA to HANCOCK would lead to significantly improved values compared to the baseline MAUNA KEA to PIETOWN, which is currently observed.

Furthermore, this work assesses baselines in a global artificial network of VLBI antennas, leading to almost 3000 investigated baselines. In general, the optimal baselines show a small angle with the equatorial plane, e.g., between high-to-mid-latitude and low-to-mid-latitude telescopes, while having a baseline length of about 8000 to 11.000 km. Baselines with a midpoint close to the equatorial plane result in worse dUT1 estimates and are therefore not recommended for VLBI Intensive sessions.

Elicitation and Evaluation of Mid-Air Hand Gestures for Global Earth Observation Data presented on Large Public Displays

Tobias Stachl

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppen Geoinformation und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2021

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Ioannis Giannopoulos MSc, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Wagner, Univ.-Ass. Mag. Dr. Markus Kattenbeck

Global Earth observation data and therefrom derived information are essential for understanding the current state, natural processes and dynamics of the Earth system. However, the characteristics of these complex spatial data sets make accessibility to a lay audience challenging. Therefore, a prototype of a map viewer was developed as an interactive visualization tool to increase the approachability of these data sets. The prototype is designed to, on the one hand, display global satellite-based radar backscatter data and, on the other hand, be controllable by touchless mid-air hand gestures.

The definition of an agreed upon set of touchless mid-air hand gestures is still an open question, especially in the context of interacting with complex data sets. To determine the base functions and features of such a novel system, a focus group discussion was conducted. In total, seven participants including the moderator discussed about existing online web maps and their advantages and disadvantages. Further major topics were how satellite-based radar backscatter data could be explained and presented to novices as well as how touchless hand gestures are currently perceived and could improve the interaction with such data.

Based on the results of the focus group discussion, a gesture elicitation study with 30 participants was conducted. With individually held online meetings, test persons proposed gestures for twelve different tasks. In total, 462 gesture proposals as well as subjective ratings and qualitative statements of the mental creation process were gathered. From this elicitation touchless mid-air hand gestures and common narratives among the test persons were obtained. Quantitatively, for navigational map tasks which include zooming and panning, the consensus could be clearly defined with the calculated agreement rates. For all other referents, the qualitative analysis which also took the second and even third proposals into account, gave suggestions for common narratives.

Then, the consensus set of gestures and narratives as well as the desirable features obtained from the focus group discussion were basis of the prototype implementation. The Leap Motion Controller (LMC) was used to determine the position and characteristics of the end-user's hands within its field of view. The satellite-based radar backscatter data derived by Bauer-Marschallinger et al. [5] was used as the base map.

The emerging system was planned to be located in a public space in the premises of the Department of Geodesy and Geoinformation at the TU Wien. Therefore, the usability and the user experience of the prototype were tested with ten participants. With an average score of 75.75 % of the System Usability Scale (SUS), the prototype already reached a positive overall tendency of the usability. Furthermore, the User Experience Questionnaire (UEQ) also indicated a positive tendency especially for the scales Attractiveness, Stimulation and Novelty. Whereas, the lower values for Perspicuity, Efficiency and Dependability suggested that improvements of the prototype were needed. As a last step, the discovered issues were countered with solutions of the implementation, such as redesigning the tutorial or a rethought realization of the semantics of features.

VODCA2GPP – A new global, long-term (1988-2020) GPP dataset from microwave remote sensing

Benjamin Wild

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2021

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Wouter Arnoud Dorigo MSc

Long-term global monitoring of terrestrial Gross Primary Production (GPP) is crucial for assessing ecosystem response to global climate change. In recent years and decades, great advances in estimating GPP on a global level have been made and many global GPP datasets have been published. These global data records are either based on observations from optical remote sensing, are upscaled from in situ measurements, or rely on process-based models. The different estimation approaches are well established within the scientific community but also exhibit significant discrepancies among each other.

Here, the new VODCA2GPP dataset is introduced, which utilizes microwave remote sensing estimates of Vegetation Optical Depth (VOD) to estimate GPP on a global scale. VODCA2GPP is able to complement existing products with long-term GPP estimates covering the period 1988-2020. VODCA2GPP applies a previously developed carbon sink-driven approach

(Teubner et al. [2019], [2021]) to estimate GPP from the Vegetation Optical Depth Climate Archive (Zotta et al. [in preparation]; Moesinger et al. [2020]), which merges VOD observations from multiple sensors into one long-running, coherent data record. VODCA2GPP was trained and evaluated against FLUXNET in situ observations of GPP and assessed against largely independent state-of-the-art GPP datasets (MODIS GPP, FLUXCOM GPP, and GPP estimates from the TRENDY-v7 model ensemble).

These assessments show that VODCA2GPP exhibits very similar spatial patterns compared to existing GPP datasets across all biomes but with a consistent positive bias. In terms of temporal dynamics, a high agreement was found for regions outside the humid tropics, with median correlations around 0.75. Concerning anomalies from the long-term climatology, VODCA2GPP correlates well with MODIS and TRENDY-v7 GPP (Pearson's r : 0.53 and 0.61) but less with FLUXCOM GPP (Pearson's r : 0.29). A trend analysis for the period 1988-2019 did not exhibit a significant trend in VODCA2GPP on a global scale but rather suggests regionally differing long-term changes in GPP. Significant similar increases of global GPP that were found for VODCA2GPP, MODIS GPP, and the TRENDY-v7 ensemble for the shorter overlapping observation period (2003-2015) supports the theory of elevated CO₂ uptake potentially induced by increased atmospheric CO₂ concentrations and the associated rising temperatures.

Analyse und Optimierung des SBAS-Workflows zur zeitlichen Erfassung räumlicher Deformationen anhand von InSAR-Daten

Julius Severin Scheungrab

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Forstwirt Dr. Mathias Schardt

Differentielle SAR Interferometrie (DInSAR) ist ein geodätisches Verfahren, bei dem anhand von Kombination mehrerer SAR Aufnahmen Verschiebungen in der Erdoberfläche identifiziert und quantifiziert werden können. DInSAR kann dichte Messungen über großflächige Bereiche mit hoher Messauflösung erzielen. In einem fortschrittlichen Ansatz werden Interferogramme mit kurzen zeitlichen und räumlichen Basislinien verwendet, um Dekorrelationen gering zu halten. In dieser Thesis wird der allgemeine Arbeitsablauf eines solchen SBAS Ansatzes vorgestellt. Dargestellt sind die einzelnen Schritte, die erforderlich sind, um von fokussierten SAR-Bildern zu Deformationskarten zu gelangen. Eine der größten Limitationen dabei zeigt sich in der Extraktion von kohä-

renten Pixeln, auf deren Basis die Deformationsanalyse ausgeführt wird. Dieses Ähnlichkeitsmaß wird verwendet, um Pixel zu finden, die ihr Rückstreuverhalten über den gesamten Zeitraum beibehalten.

Um diesen Prozess zu verbessern werden zwei neue Ansätze implementiert. Einerseits ist dies der Ansatz der sogenannten normalisierten Kohärenz. Ziel ist es, eine optimierte Triangulation im Vergleich zur bisherigen Delaunay-Triangulation zu finden. Dies geschieht durch die Vorauswahl kohärenter Interferogramme, die in die Triangulation eingespeist werden. Dabei kann die bereits verwendete „enhanced spectral density“ genutzt werden, welche es ermöglicht jedem Bildpaar einen Richtwert für die Kohärenz zuzuweisen. In einem zweiten Ansatz werden statistisch homogene Pixel eingeführt. Diese ersetzen den starren Boxcar-Ansatz zur Berechnung der Kohärenz in der Azimut-Range-Ebene. Beide Ansätze reduzieren Dekorrelationen und führen zu zuverlässigeren Ergebnissen. Zudem konnte durch die normalisierte Kohärenz die Punktdichte im ländlichen Raum erhöht werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, da DInSAR hauptsächlich in solchen Gebieten eingesetzt wird, beispielsweise zur Überwachung von Erdbeben. Durch die Optimierung des Netzes konnte zudem der Einfluss der bisher meist vernachlässigten Fehlerfortpflanzung reduziert werden. Dadurch können hochwertigere Kohärenzkarten erstellt und eine verbesserte Deformationsanalyse durchgeführt werden.

Wertermittlung von Trennstücken im Verfahren nach § 13 Liegenschaftsteilungsgesetz

Peter Thomann

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Mag. Dipl.-Ing. Dr. Ernst Primas

Der Gesetzgeber sieht für die Durchführung einer Grundstücksteilung anhand des vereinfachten Verfahrens nach § 13 Liegenschaftsteilungsgesetz (LiegTeilG) u.a. vor, dass der abzutrennende Grundstücksteil eine 2.000,- Euro Wertgrenze nicht überschreiten darf. Die Durchführbarkeit des kostengünstigeren und schnelleren Verfahrens, das den Eigentümern als Anreiz dienen soll, kleinere Grenz- bzw. Eigentumsänderungen ordnungsgemäß durchzuführen, ist somit von einer Bewertung des gegenständlichen Grundstücks abhängig, die zwar unkompliziert und formlos, jedoch trotzdem möglichst treffsicher und genau sein soll. Dieses Spannungsverhältnis wird in dieser Arbeit aufgegriffen und das Ziel dahingehend gesetzt, für verschiedene Grundstückskategorien die einfachste und genaueste Wertermittlungsmethode zu eruieren.

Dafür wird nach einer intensiven theoretischen Einführung in die Themengebiete des Katasters und der Liegenschaftsbewertung eine Befragung der Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen (IKV) sowie Amts- und Dienststellenleiter der Vermessungsämter in der Steiermark mit qualitativer Inhaltsanalyse durchgeführt, um u.a. zu erheben, wie und mit welchen Methoden diese Bewertungsanforderung gegenwärtig gelöst wird. Die aus der derzeitigen Praxis ermittelten Bewertungsmethoden werden im Anschluss nach verschiedenen Kriterien aggregiert. Mit diesen Erkenntnissen werden reale § 13 LiegTeilG-Fälle den genannten Bewertungsmethoden zugeordnet. Durch einen Vergleich mit einer Referenzbewertung wird eine alternative – auf aktuelle am Markt vorhandene Lösungen angepasste – Bewertungsmethode entwickelt.

Die Zielsetzung der Arbeit wurde nach umfangreichen Untersuchungen erreicht. Die Datenquellen Statistik Austria und Bodenpreise.at konnten für den konkreten Fall der Wertermittlung von Trennstücken für verschiedene Grundstückskategorien als die geeignetsten Lösungen für die entwickelte Bewertungsmethode eruiert werden und wurden abschließend in das erstellte Prozessdiagramm, das die Abläufe einer Grundstücksteilung darstellt, an der Stelle der Wertermittlung integriert.

Umsetzung von Alternativenprüfungen in einer Open-Source-WebGIS Anwendung – Ein Beitrag zur kommunalen Energieraumplanung in der Gemeinde Gleisdorf

Andreas Stöger

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr. Johannes Scholz

Die Klimaerwärmung ist eine der größten Herausforderungen in diesem Jahrhundert. Um die Erwärmung unter 2 Grad Celsius zu halten wurden Internationale und Nationale Klimaziele gesetzt. Ein großes Einsparpotential an klimaschädlichem Treibhausgas CO₂ wird in Österreich bei der Bereitstellung von Raumwärme gesehen. Durch den Ausstieg aus fossilen Energieträgern und die Reduzierung des Energieverbrauchs in der Wärmeversorgung sollen erste Schritte unternommen werden. Die räumliche Energieplanung wird hierbei als wichtiges Instrument für die Umsetzung und Gestaltung einer zukunftsorientierten Energieentwicklung angesehen.

In dieser Thesis wird eine Anwendung entwickelt, die als Werkzeug der räumlichen Energieplanung fungieren soll. Damit soll es möglich sein, Siedlungsentwicklung und Energiepotenziale aufeinander abzustimmen sowie die Versorgungsinfrastruktur zu optimieren. Eine weitere

Funktion soll die Priorisierung von lokalen Energiepotentialen sowie die Definition von Eignungs- und Vorzugsgebieten sein. Ziel ist es, die räumliche Energieplanung zugänglicher und effizienter zu machen.

Die administrativen Grenzen der Stadtgemeinde Gleisdorf bilden das Untersuchungsgebiet, für das die gegenständliche Anwendung entwickelt wird. Die räumliche Datengrundlage der Applikation zur Charakterisierung des Gebäudebestandes, der leitungsgebundenen Energieinfrastruktur sowie der lokal verfügbaren erneuerbaren Energiepotenziale stammen überwiegend aus dem Forschungsprojekt S/E/P in Kooperation mit AEE INTEC, Land Steiermark und Stadtgemeinde Gleisdorf. Ausgehend von den Anforderungen der räumlichen Energieplanung werden die Architektur und die Komponenten zur Umsetzung der Applikation gewählt. Ebenso werden das Design und die Funktionen auf die räumliche Energieplanung abgestimmt.

Das Ergebnis ist eine Open-Source-WebGIS-Anwendung, die es durch Visualisierung und statistische Auswertungen von räumlichen Daten bewerkstelligt, Informationen zu Wärmebedarf und den Potentialen für eine klimafreundliche (erneuerbare) Wärmebereitstellung zu präsentieren. Durch die integrierte Funktion der attributiven und räumlichen Selektion lassen sich (Ziel-) Bereiche individuell bestimmen und untersuchen. Die implementierte Alternativenprüfung ermöglicht es außerdem, das Wärmeversorgungssystem auf Grundstücksebene nach räumlichen, ökonomischen und ökologischen Kriterien zu prüfen, um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Räumlich signifikante Häufungen spezifischer Verhaltensmuster im Kontext teilautomatisierten Fahrens

Manuel Tobias Güttler

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr. Johannes Scholz, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Konrad Rautz

In dieser Arbeit wird eine Analyse des Fahr- und Nutzungsverhaltens von „Advanced Driver Assistance Systems“ (ADAS) im Zuge des Forschungsprojekts GEN-Drive durchgeführt. Hierbei wird ein besonderer Wert auf die Unterschiede zwischen manuellem und teil-automatisiertem Fahren gelegt, welche mit kontextuellen Einflüssen, wie Wetterzuständen, örtlichen Gegebenheiten (z.B. Straßenbedingungen) und demographische Faktoren in Verbindung gesetzt werden. Zur Analyse und Aufbereitung der Daten wurden die Programmiersprachen R, PostgreSQL, QGIS und GeoDa genutzt. Die Analyse

hat gezeigt, dass speziell demographische Faktoren und örtliche Gegebenheiten eine nachweisliche Auswirkung auf das Fahr- und Nutzungsverhalten von ADAS haben. Des Weiteren wird deutlich, dass sich das grundlegende Fahrverhalten einer Person durch die Verwendung von ADAS nicht ausschlaggebend verändert und das Fahrverhalten beibehalten wird.

Standardized Structure from Motion – Multi View Stereo Photogrammetry Workflow to Gain High Quality Digital Elevation Models for Geomorphic Research Models for Geomorphic Research

Matthias Wecht

Diplomarbeit: Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 2021

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang Sulzer

Heutzutage werden unbemannte Luftfahrzeuge in fast allen Bereichen der physischen Geographie, insbesondere in der Geomorphologie eingesetzt. Aufgrund der relativ geringen Anschaffungskosten dieser unbemannten Luftfahrzeuge und einfach zu bedienender Software ist es möglich, ohne fundierte Kenntnisse auf dem Gebiet der Fernerkundung und Photogrammetrie Datengrundlagen für die Forschung zu erstellen. Die zu diesem Zweck eingesetzten günstigen Sensoren erfüllen in der Regel nicht die Anforderungen, die in der traditionellen Photogrammetrie üblich sind, um die Genauigkeit der Datengrundlage für die weitere Forschung zu bewerten.

In dieser Arbeit wurde ein „Structure from Motion“ – „Multi View Stereo“ Workflow entwickelt, der auf der Basis von aufgenommenen Daten unbemannter Luftfahrzeuge mit entsprechenden theoretischen Abschätzungen der Genauigkeit und Präzision eine detaillierte Analyse der Ergebnisse durch eine Simulationsmethode ermöglicht und darüber hinaus optimierte Parameter für die Berechnung in einem „Structure from Motion“ – „Multi View Stereo“ Verfahren bereitstellt. Der Workflow selbst besteht aus einer Benutzeroberfläche, mit der sowohl Berechnungen in der SfM-Software über eine Anwendungsschnittstelle ausgelöst, als auch die Ergebnisse der Berechnungen in der Benutzeroberfläche angezeigt werden können. Durch die Anwendung des Workflows konnte in erster Linie der systematische Fehler, inhärent in dreidimensionalen Punktwolken aus der Stereobildzuordnung, um den Faktor ~5 verbessert werden und weiters ist es möglich, eine Aussage über die räumliche Verteilung der Genauigkeit in den Ergebnissen anzugeben.

Um die Ergebnisse des Workflows übersichtlich und interpretierbar zusammenzufassen, wurde ein Protokoll

erstellt, das relevante Informationen zu dem verwendeten unbemannten Luftfahrzeug, der Sensorik, dem Untersuchungsdesign, den Prozessierungsparametern und der Genauigkeitsbetrachtung enthält.

Towards an Ad-hoc multi-modal Transport Platform for small Parcels

Andreas Bernhart

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr. Johannes Scholz

Die Routenplanung gewinnt im Bereich der Logistik immer mehr an Bedeutung. Die Einführung und Entwicklung von Optimierungen dieser Routenplanungen sowie technologische Verbesserungen sind wichtige Punkte um Unternehmen die Arbeit zu erleichtern und um die Routen der einzelnen Fahrzeuge effizienter zu planen. Neben der Planung an Single Routen ist die Erstellung von multi-modalen Routen, bei dem das Paket anhand mehrerer Fahrzeuge zugestellt wird, ein zentrales Thema in der heutigen Logistikbranche. Bei der Entwicklung dieser Optimierungen können zahlreiche Hindernisse auftreten. Die zeitliche, aber auch die räumliche Synchronisation der Lieferplattformen spielen neben anderen Beschränkungen eine wesentliche Rolle für die Erstellung eines solchen Algorithmus.

Ziel dieser Arbeit ist es, mithilfe von Ansätzen aus dem Vehicle Routing Problem einen multi-modalen Transport von kleinen Paketen zu erschaffen. Bei einem multi-modalen Transport soll das Paket über zwei Plattformen zum Kunden gelangen, wobei die in dieser Arbeit verwendeten Plattformen, welche für eine Abholung und Zustellung zuständig sind, Autos, Fahrräder und Fußgänger sind. Um dies zu ermöglichen, wird ein passender Übergabepunkt berechnet, an dem das Paket der zweiten Plattform übergeben wird. Eine multi-modale Route eines Paketes ergibt sich somit aus der Lieferung von einem Abholort zu einem Übergabepunkt des ersten Fahrzeuges und vom Übergabepunkt zum Zustellort des zweiten Fahrzeuges. Für die Berechnung des Übergabepunktes werden zwei Ansätze vorgestellt, welche sich hinsichtlich des Unterbrechungspunktes der einzelnen Routen unterscheiden und an denen die geplanten Routen unterbrochen werden, um zum Übergabepunkt zu gelangen. Für die beiden Ansätze ist die zeitliche sowie die räumliche Synchronisation relevant und ist bei der Erstellung des Algorithmus unumgänglich.

Mithilfe des Vehicle Routing Problems mit Time Windows kann somit ein Prototyp eines Systems entwickelt werden, wodurch Gesamtkosten für die einzelnen geplanten Routen gespart werden können. Die Daten

für die Erstellung des Algorithmus sind zudem von Bedeutung und basieren auf echten Straßensegmenten im urbanen Gebiet.

Spatial Linked Data Approach for Trace Data in Digital Humanities

Franziska Hübl

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2021

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr. Johannes Scholz

Diese Masterarbeit behandelt die Untersuchung und Verwendung vorhandener Konzepte wie das CIDOC CRM (Conceptual Reference Model), lawdi/LAWD (eine Ontologie für Linked Ancient World Data), und andere relevante Ontologien, sowie die möglichen Erweiterungen von zeitlichen und räumlichen Begriffen, um mit historischen Linked Places und Linked Traces Daten zu arbeiten. Diese Arbeit umfasst auch die Integration von sogenannten Linked Data repositories, also digitalen Datenlagern, wie DBpedia, GeoNames und World Historical Gazetteer. Mittels Kombination der vorhandenen Ontologien und der Beispieldaten entsteht ein Knowledge Graph (Wissens-Datenbank in Graph-Struktur) mit räumlich-zeitlichen Daten. Dieser Ansatz wird im Zuge einer Untersuchung des resultierenden Knowledge Graph in Hinblick auf die geosemantischen Eigenschaften getestet. Um dem Leitbild des „Verlinkens von Daten“ zu folgen, findet ein SPARQL Endpoint Verwendung und dient als standardisierte proof-of-concept Implementierung.

Recht und Gesetz

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

Zustimmungserklärung; § 43 Abs. 6 VermG

Die Umwandlung in den Grenzkataster kann nur erfolgen, wenn die Zustimmungserklärung zweifelsfrei und unbedingte vorliegt.

BVG 11.01.2021, W138 2231991-1

Sachverhalt:

Mit Bescheid des VerMA wurden die (an das Grundstück des nunmehrigen Beschwerdeführers angrenzenden) Grundstücke von Amts wegen gemäß § 17 Z 3 iVm § 20 Abs. 1 VermG vom Grundsteuerekataster in den Grenzkataster umgewandelt. Grundlage für die Umwandlung bildete der Plan des IKV XXXX. Die Behörde ging vom Vorliegen einer zweifelfreien Zustimmungserklärung des Beschwerdeführers aus.

Dagegen richtete sich die fristgerecht eingebrachte Beschwerde. In dieser wurde im Wesentlichen ausgeführt, dass der Beschwerdeführer seine Zustimmung zu den festgelegten Grenzen der umzuwandelnden Grundstücke nicht erteilt habe und nicht erteilen werde, solange die damit verbundene Frage der Zugänge und Wege-rechte zu den jeweiligen Grundstücken nicht geklärt sei.

Aus der rechtlichen Beurteilung:

Voraussetzung für die Zulässigkeit der Umwandlung ist gem. § 17 Z 3 VermG insbesondere eine Zustimmungserklärung der Eigentümer der angrenzenden Grundstücke zum Verlauf der Grenze. Das Gesetz enthält keine Vorschriften über Form und Inhalt der Zustimmungserklärung. Das Vermessungsamt hat in jedem Fall zu prüfen, ob dem im Plan dargestellten Grenzverlauf zweifelsfrei zugestimmt wurde (Twaroch, Kataster- und Vermessungsrecht⁹, Anm 25 zu § 43 VermG)

Der Beschwerdeführer hat in der Grenzzusammenkunft immer wieder erklärt, dass er die Frage des Wegerechts bzw. Zufahrtsrechts zu den Grundstücken klären möchte. Er hat seine Zustimmungserklärung unter der Bedingung abgegeben, dass das Wegerecht vor der Umwandlung geklärt wird. Zu einer Klärung dieser Frage ist es bisher jedoch nicht gekommen. Eine Zustimmungserklärung des Beschwerdeführers konnte daher nicht zweifelsfrei und unbedingte erlangt werden. Der Leiter der Grenzzusammenkunft hat daher rechtsunrichtig festgestellt, dass alle Zustimmungserklärungen zum Grenzverlauf vorliegen. Da der Beschwerdeführer seine Zustimmung daher nicht vorbehaltlos abgegeben hat, hätte dies im Protokoll der Grenzzusammenkunft vermerkt werden müssen. Es gab zwar die Unterschrift

des Beschwerdeführers zum Grenzverlauf und ist dieser mit dem Grenzverlauf an sich auch einverstanden, jedoch hat er die Unterschrift unter einer aufschiebenden Bedingung abgegeben, sodass diese vor Bedingungseintritt, der nicht stattgefunden hat, keine rechtliche Wirksamkeit im Zusammenhang mit der geplanten Umwandlung entfalten kann.

Es kann sohin nicht von einer zweifelfreien und unbedingten Zustimmung zum Grenzverlauf durch den Beschwerdeführer ausgegangen werden.

Geringwertiges Trennstück; § 13 LiegTeilG

Bei der Wertermittlung sind eine geringe Grundstücksgröße, eine ungünstige Ausformung des Grundstücks, eine vorhandene Hanglage, ein vorhandener Graben auf oder über dem Grundstück und die Anbindung an das Kanal- und/oder Trinkwassernetz sowie das öffentliche Verkehrsnetz zu berücksichtigen.

BVG 20.01.2021, W114 2237359-1

Sachverhalt:

Der nunmehrige Beschwerdeführer brachte einen Antrag auf Herstellung der Grundbuchsordnung gemäß § 13 LiegTeilG, ein. Das VerMA wies den Antrag zurück. Begründend wurde ausgeführt, dass das VerMA festgestellt habe, dass das gegenständliche Trennstück 1 nach dem örtlichen Flächenwidmungsplan im Bauland liege. Der durchschnittliche Baulandpreis betrage lt. Statistik Austria EUR 81,— je m². Die Wertgrenze gemäß § 13 Abs. 3 LiegTeilG sei daher offensichtlich überschritten.

In seiner Beschwerde wendet sich der Beschwerdeführer unter Beifügung von Fotografien, auf denen das verfahrensgegenständliche Trennstück abgebildet ist und einer Stellungnahme des Bürgermeisters, dass für das verfahrensgegenständliche Trennstück 1 ein ortsüblicher Verkehrswert von EUR 60.— je m² heranzuziehen sei, gegen den vom VerMA verwendeten Verkehrswert in Höhe von EUR 81.— je m² und weist darauf hin, dass es sich bei diesem Trennstück 1 um eine Hanglage handle und der Wert je m² daher niedriger anzusetzen wäre.

Aus der rechtlichen Beurteilung:

Das VerMA hat zur Beurteilung, ob die Voraussetzung für die Abschreibung eines geringwertigen Trennstückes gemäß § 13 LiegTeilG vorliegen, im Wege der Statistik Austria erhoben, dass der Durchschnittspreis pro Quadratmeter zum Zeitpunkt der angefochtenen Entscheidung bei EUR 81.— lag. Dieser Betrag berücksichtigt jedoch nicht eine allfällige geringe Grundstücksgröße, eine allfällige ungünstige Ausformung des Grundstücks, eine allfällige vorhandene Hanglage, einen allenfalls vor-

handenen Graben auf oder über dem Grundstück, dass das jeweilige Grundstück noch nicht an das Kanal- und/oder Trinkwassernetz angebunden bzw. erschlossen ist, oder ob eine Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz besteht.

Das VermA hat im Zuge des durchzuführenden Ermittlungsverfahrens die Erhebung bei der Statistik Austria – vor Erlassung des angefochtenen Bescheides – nicht an den Beschwerdeführer zum Parteiengehör übermittelt. Der Beschwerdeführer konnte sich daher zu diesem Ermittlungsergebnis auch nicht äußern und seine berechtigten Einwendungen bereits im Verwaltungsverfahren gegenüber dem VA darlegen.

Beim verfahrensgegenständlichen Grundstück handelt es sich um ein kleines Grundstück. Dieses Grundstück weist eine Hanglage mit einem Gefälle von über 10 % auf. Damit das anfallende Oberflächenwasser entsprechend abgeleitet werden kann, verläuft über das Grundstück ein Graben, der eine Bebauung erschwert bzw. bei einer allfälligen Bebauung wahrscheinlich eine Verrohrung erfordert. Gemäß § 6 der OÖ. Bauordnung darf ein Bauplatz in der Regel nicht kleiner als 500 m² sein und muss eine adäquate Gestalt und Größe aufweisen. Das Grundstück ist im Westen 7,65 m breit und im Osten nur 3,78 m breit und weist mit einer Länge von 30,79 keine adäquate Gestalt oder Größe auf, um darauf ein Hauptgebäude errichten zu können. Von der Gemeinde wurde bestätigt, dass für dieses Grundstück keine Bewilligung eines Bauplatzes erteilt werden würde.

In der gegenständlichen Angelegenheit, in der feststeht, dass alle sonstigen Voraussetzungen für eine Anwendung der Regelungen des § 13 LiegTeilG erfüllt sind, stellt sich die Frage, ob auch die Wertgrenze von EUR 2.000.– des § 13 Abs. 3 und 4 LiegTeilG eingehalten wird.

Entgegen der Auffassung des VermA gelangt das Gericht nach eingehender Auseinandersetzung mit den im Beschwerdeverfahren vorgetragene Standpunkten des VermA und des Beschwerdeführers zum Ergebnis, dass dem Beschwerdeführer zuzustimmen ist, wenn er in seiner Beschwerde darlegt, dass der aktuelle Verkehrswert des verfahrensgegenständlichen Trennstückes 1 den Wert von EUR 2.000.– nicht erreicht und damit auch das vereinfachte Verfahren des § 13 LiegTG in der gegenständlichen Angelegenheit zur Anwendung gelangt.

Zweifelsohne hat auch das VA bei der Wertermittlung des Trennstückes 1 einen gangbaren Weg beschritten, indem es Daten der Statistik Austria herangezogen hat. Wenn das VermA bei der Wertschätzung genau diesen Durchschnittswert heranzieht übersieht es, dass das Trennstück 1 aufgrund seiner konkreten Beschaffenheit eben nicht als Durchschnittspreis-Grundstück zu

betrachten ist. Infolge der geringen Grundstücksgröße, der vorhandenen Hanglage, des Umstandes, dass das Grundstück nicht aufgeschlossen ist, für das neue Grundstück von der Gemeinde keine Baubewilligung erteilt werden würde, und einen „Abwassergraben“ aufweist, der eine Nutzung wesentlich beeinträchtigt, ist für das neue Grundstück und damit auch das verfahrensgegenständliche Trennstück 1 ein geringerer Betrag, als jener, der sich aus einer Durchschnittswertberechnung ergibt, anzusetzen.

Unter Berücksichtigung dessen, dass bei einer Wertschätzung kein förmliches Verfahren durchzuführen ist und eine plausible bzw. nachvollziehbare Schätzung als ausreichend anzuerkennen ist, wird der mit der Beschwerde vorgetragene Wertschätzung, die einen Verkehrswert in Höhe von EUR 60,00 je m² ergibt, gefolgt. Der Wert des Trennstückes liegt daher unter dem Maximalbetrag von EUR 2.000.– und ist damit auch diese Voraussetzung für die Anwendbarkeit von § 17 LiegTeilG erfüllt.

Ergänzend weist das BVwG darauf hin, dass insbesondere im Falle negativer Entscheidungen durch ein VermA im Ermittlungsverfahren alle relevanten und wesentlichen Entscheidungsgrundlagen gegenüber einem davon betroffenen Antragsteller jedenfalls im Zuge eines durchzuführenden Parteiengehörs noch vor Erlassung des Bescheides offenzulegen sind, sodass diesem Gelegenheit gegeben wird, allenfalls recht- und frühzeitig berechtigte Einwände vorzutragen, die dann bei der Entscheidung berücksichtigt werden können.

Luftfahrthindernisregister; Änderung des Luftfahrtgesetzes

Mit dem durch BGBl. I Nr. 151/2021 neu eingefügten § 96b des Luftfahrtgesetzes wurde ein digitales zentrales Luftfahrthindernisregisters – ZLHR geschaffen. Durch die Einführung des ZLHR soll sichergestellt werden, dass den Luftverkehrsteilnehmern die Luftfahrthindernisdaten in der erforderlichen Genauigkeit und Aktualität zur Verfügung gestellt werden. Die Einrichtung und Führung des ZLHR soll alle Maßnahmen umfassen, die notwendig sind, um einen konsistenten Erstbestand an Luftfahrthindernisdaten aufzubauen und danach einen möglichst aktuellen Status der eingetragenen Daten zu gewährleisten.

Als Referenzdatenbestand wird das Digitale Landschaftsmodell (DLM) des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen (BEV) herangezogen. Aus diesem Grund wird das BEV zur Erstellung des Zentralen Luftfahrthindernisregisters zuständig sein.

Österr. Vermessungs-Know-How im internationalen Kontext

Franz W. LEBERL:

Universitätslehrer, Forscher, Innovator und Geschäftsmann

photogrammetry meets computing and academia meets business and management.

<http://leberl.icg.tugraz.at/>



Prof. Leberl mit Hopfner-Medaille; Quelle: <http://leberl.icg.tugraz.at/>

Franz W. Leberl (geboren 1945) hat an der Technischen Hochschule Wien Vermessungswesen studiert. Im Jahr 1967 schloss er das Studium als Diplomingenieur ab. Danach ging er erstmals ins Ausland zum „International Training Center (abgekürzt ITC)“. Das ITC ist eine global tätige Institution für die Ausbildung von Techniker*innen, Manager*innen und Geowissenschaftler*innen in den Fachbereichen Fernerkundung, Landentwicklung, GIS, Vermessungstechnik und Umweltbeobachtung. Während dieser Zeit in Enschede/Niederlande promovierte er 1972 mit der Dissertation „Untersuchung über die Geometrie und Einzelbildauswertung von Radarschrägaufnahmen“. Zwei Jahre später wagte er den Sprung über den großen Teich, um sich in den USA am „Jet Propulsion Laboratory der NASA“ mit der Radar-Vermessung des Mondes und der Venus zu beschäftigen. 1977, zurück in Österreich, hat Franz Leberl sich an der TU Graz habilitiert. Dort wurde er auch zum außerordentlichen Professor für die neue Abteilung für Photogrammetrie und Fernerkundung ernannt. In diese Zeit fällt auch die von ihm initiierte Gründung des Forschungsinstituts für digitale Bildverarbeitung am Joanneum Research. 1984 kehrte Leberl wieder in die USA zurück, diesmal in die private Wirtschaft als Geschäftsführer der „Markhurd Corporation“.

1985 gründete er seine eigene Firma, die Vexcel Corp., und 1992 die Vexcel Imaging Corp. Im selben Jahr wurde er an die TU Graz als Universitätsprofessor für Computergrafik and Vision berufen. In Graz gründete er eine weitere Firma, die Firma Vexcel Imaging Graz. 1996 bis 1998 agierte er als Geschäftsführer des Forschungszentrums Seibersdorf. Nach dem Verkauf der Firmen Vexcel und Vexcel Imaging an Microsoft arbeitete für diese Firma zwei Jahre am digitalen 3D Weltmodell Bing-Maps mit.

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Franz Leberl hat sei Berufsleben dem Thema „Bildanalyse“ gewidmet und ist mehrmals zwischen der Forschung, dem Geschäftsleben und dem Wissenschaftsmanagement aber auch zwischen Österreich und den USA hin- und hergewechselt. Im Wissenschaftsbereich sind der Aufbau der Institute für Photogrammetrie und Fernerkundung, für digitale Bildverarbeitung und für Computergrafik und -vision hervorzuheben. Seine mehr als 300 wissenschaftlichen Arbeiten, 15 Patente und die Betreuung von 48 abgeschlossenen Doktorats-Projekten dokumentieren sein wissenschaftliches Schaffen. Die im Folgenden angeführten Veröffentlichungen in der VGI zeigen einen Teil seiner wissenschaftlichen Themen auf. Der



Präsentation der digitalen Luftbildkamera Vexcel UltraCam; Quelle: <http://leberl.icg.tugraz.at/>

von seiner Firma Vexcel entwickelte Scanner und vor allem die bekannte und weltweit eingesetzte digitale Luftbildkamera Vexcel UltraCam sind sichtbare Zeichen der wissenschaftlichen und auch unternehmerischen Genialität von Franz Leberl.

Franz Leberl wurde vielfach ausgezeichnet: Der Otto-von-Gruber-Preis der ISPRS, die Golden Brock Medaille der Fellow-Status der IEEE, die Hopfner-Medaille und das große Silberne Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich seien stellvertretend hier angeführt.

*Christoph Twaroch, Gerhard Navratil,
Reinfried Mansberger*

Referenzen

<http://leberl.icg.tugraz.at/>

Schindler Konrad: Laudatio anlässlich der Verleihung der Friedrich Hopfner-Medaille; VGI 2014/4, 162

Veröffentlichungen in der VGI

Leberl Franz / Gruber Michael: Über Innovationen in der (Luft-)Bildmessung, VGI 2014/4

Leberl Franz: Neo-Geodäsie und ein immersives Exabyte Weltmodell im Internet, VGI 2010/3

Leberl Franz / Gruber Michael: Aufbau und Nutzung einer virtuellen Erde im Internet, VGI 2009/3

Leberl Franz / Kalliany Rainer: 3D Objekterfassung mittels Fernerkundung, VGI 2001/3-4

Gruber Michael / Leberl Franz: Digitalisieren von Luftbildern, VGI 2001/1

Leberl Franz / Kalliany Rainer: Prüfung und Verwendung internationaler Satellitenbilddaten, 1997/2

Leberl Franz / Kalliany Rainer: Innovationen in Sensortechnik und Datennetzwerken, VGI 1996/1

Leberl Franz / Kalliany Rainer: Satellite Remote Sensing in Austria and the European Center for Earth Observation, VGI 1995/1-2

Leberl Franz: Digitale Bildanalyse für großräumige Erdvermessung, VGI 1991/3

Leberl Franz / Raggam Johannes / Ranzinger Hubert: Zur Nutzung multispektraler Satellitendaten, VGI 1983/1

Leberl Franz / Götz Alexander: Übersicht über den gegenwärtigen Stand der digitalen Bildverarbeitung, VGI 1975/3

Leberl Franz: On Model Formation With Remote Sensing Imagery, VGI 1972/2

Leberl Franz: „Remote Sensing“ – Neue Entwicklungen zur Wahrnehmung auf Abstand. Eine geometrisch orientierte Einführung, VGI 1971/6

Tagungsberichte



2020 war anders. Phrasen wie „nie dagewesene Herausforderungen“ oder „das neue Normal“ wurden vielfach überstrapaziert. Was genau als „Normal“ gilt wurde in den letzten Monaten immer wieder neu definiert. Es ist zu früh zu sagen, wann wir in einen pre-COVID modus operandi zurückkehren können – und ob wir das überhaupt wollen.

AGIT 2021 – re.connecting spatially

Die AGIT ist der jährliche Treffpunkt für Innovation, Vernetzung und Weiterbildung in allen Bereichen der Geoinformation. Interdisziplinäre Diskussionen, zukunftsweisende Ideen und eine einzigartig freundliche Atmosphäre begleiten und prägen den Austausch von Wissenschaft und Forschung, Wirtschaft und Anwendung – 2021 erstmals als Hybridevent.

Der Ablauf ist uns mittlerweile allen bekannt und für viele von uns nach wie vor Alltag: Für ein Meeting mit einer Kollegin verschicken wir schnell einen Zoom-Link; die Mittagspause verbringen wir mit einem Kollegen – virtuell und jeder für sich im Homeoffice; ein Unternehmen lädt uns zu einem „after-work-webinar“ ein.

Während die Übermittlung von Inhalten wirklich gut über diverse virtuelle Plattformen funktioniert, so vermischen wir doch alle eines ganz besonders: den spontanen, persönlichen Austausch.

Nach der online AGIT 2020 waren wir der Überzeugung, mit 2021 wird es leichter, in der Realität waren hybride Planung und Vorbereitung komplexer und aufwendiger: Planungsunsicherheit durch neue COVID-Varianten und deren Entwicklungen auf der einen Seite, Erwartungen & Hoffnungen auf eine möglichst große Präsenzveranstaltung in Salzburg auf der anderen Seite.

Dazwischen sehr viel Unsicherheit, Abwägen und Flexibilität, begleitet von Überlegungen und Diskussionen im Spannungsbogen von „nichts geht“ bis grenzenlosem Optimismus. Agile Konferenzplanung ist nun schon seit mehr als einem Jahr unser bestimmendes Motto und eine Herausforderung zugleich, galt es dieses Jahr insgesamt drei Konferenzen während der *GI_Week 2021* durchzuführen – AGIT, *GI_Forum* und das *International Symposium on Digital Earth (ISDE)*.

Hybridevents als Format der Zukunft?

Wir haben das Experiment gewagt und die AGIT 2021 zum 1. Mal als Hybridevent veranstaltet. Ein umfassendes COVID-Präventionskonzept, inklusive den vorgegebenen Zutrittsbeschränkungen der Universität, ermöglichte uns, dass wir am 7. Juli rund 60 Teilnehmerinnen und Teilnehmer in Salzburg begrüßen durften. Das schmale Programm vor Ort konzentriert auf maximal zwei Vortragsschienen sowie ausgiebige Pausen zum Netzwerken ermöglichten Raum und Zeit für Gespräche und Austausch. Sämtliche Veranstaltungen vor Ort waren für unsere Online-Teilnehmer ebenfalls verfügbar. Fragen konnten im Chat gestellt werden und wurden von den Sitzungsmoderatoren im Saal aufgenommen und durch die Vortragenden beantwortet. Die weiteren Tage trafen sich unsere Teilnehmer zum Wissensaustausch auf einer virtuellen Plattform.

Inhaltlich konnten wir während der GI_Week2021 auf ein außergewöhnlich buntes und internationales Programm zurückblicken. Durch die ISDE erhielt das hybride Publikum neue Impulse die weit über den fachlichen Tellerrand blicken ließen. Stark dominierende Themen der AGIT waren Mobilität und Verkehrsplanung, Energieplanung, Natur- und Umweltschutz, aber auch methodische Aspekte zur Datenerfassung und Fernerkundung. Zusätzliche Beiträge rund um das Thema Vermessung, Modellierung und Planung rundeten das Angebot ab.

Viele Beiträge sind wie immer im AGIT Journal 2021-7 nachzulesen (<https://agit.at/journal/>), alle Keynotes können via www.agit.at nachgesehen werden. So auch der Plenarvortrag im Duett von Antje Kunze und Pascal Müller. Sehr positiv wurde das Youth Forum aufgenommen: Aktuelle Fragen zu unserem Fach aber auch gesellschaftliche Themen wurden hier von und mit jungen Leuten diskutiert und aufbereitet. Der letzte Tag des GI_Forum war unter anderem vom Leitthema „Urban Data Science“ geprägt und wurde mit einer inspirierenden Keynote von Anita Graser eingeleitet.

Das echte „AGIT-feeling“, wie wir es kennen und lieben, konnte mit so einer geringen Anzahl an Teilnehmenden in Salzburg zwar nur bedingt aufkommen, für die meisten Besucher war es jedoch die erste berufliche Präsenzveranstaltung seit über einem Jahr.

Eine besondere Herausforderung ist es, eine EXPO als online Format abzubilden. Dies haben wir schon bei der AGIT 2020 sowie bei anderen online Veranstaltungen erfahren. Wir haben uns heuer als Veranstalter deshalb bewusst dafür entschieden, keine durchgehende personale Besetzung der online Ausstellungsstände vorzusehen, sondern durch die Bereitstellung von Videos, Texten und weiterführenden Links zu den Unternehmenswebseiten und Kanälen in den Sozialen Medien sowie Kontaktmöglichkeiten zielgruppenorientierte Information zu transportieren.

Das Thema online - Netzwerken bleibt auch für die Zukunft eine Herausforderung. Echte Kontakte mit fremden FachkollegInnen im virtuellen Raum zu schaffen, ist sehr schwer – unabhängig der Tools, die man anbietet oder verwenden kann. Eine zufällige Begegnung bei einem Kaffee kann virtuell so gut wie gar nicht nachempfunden werden.

Schon jetzt kann die COVID-19 Pandemie als Katalysator für viele Veränderungen gesehen werden, die wohl unauffhaltsam waren und nun beschleunigt in unserem täglichen Arbeitsleben Einzug gehalten haben. Das Arbeiten im Homeoffice als eine der größten Veränderungen war wohl vor der Pandemie in vielen Unternehmen noch undenkbar. Wird sich dieses in weiterer Folge als „remote office“ durchsetzen? Gut durchdachte Hybridevents werden uns wahrscheinlich noch länger begleiten. Wir bedanken uns bei allen Sponsoren, Unternehmen und aktiv Mitwirkenden, die sich dieses Jahr auf unsere 1. Hybride AGIT eingelassen haben.

Als Veranstalter wollen wir uns ganz klar auf das fokussieren, was die AGIT ausmacht: Innovation, Vernetzung und Weiterbildung. Im besten Fall vor Ort, in einer entspannten und gleichzeitig inspirierenden Umgebung. Gleichzeitig wollen wir die vielen Impulse der letzten zwei Jahre nutzen und sind derzeit mit Überlegungen und Diskussionen beschäftigt, unsere Konferenzen neu zu denken. Auch wenn wir jetzt noch nicht sagen können, wie die AGIT 2022 vom 6. bis 8. Juli aussehen wird, freuen wir uns darauf!

Julia Stepan, Ursula Witzmann-Müller und Bernhard Zagel für das Team AGIT



Hybride AGIT 2021: Studio-setting backstage. Foto credit: Team AGIT



Vortrag im AudiMax – wegen der aktuellen COVID-Vorschriften mit stark begrenzter Teilnehmerzahl. Foto credit: Team AGIT

Termine 2022

GI_Week 2022 findet von 4. – 8. Juli statt

Call for Papers öffnet im Herbst 2021

Website: www.agit.at

Email: office@agit.at

Twitter: [@agit_team](https://twitter.com/agit_team)

Facebook: [@agit.community](https://www.facebook.com/agit.community)

Instagram: [z_gis](https://www.instagram.com/z_gis)



Vortragende und Organisationsteam der DACH 2021

DACH 2021

Die Bundesfachgruppe für Vermessungswesen der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen hatte die ehrenvolle Aufgabe, die 5. Dreiländertagung der freiberuflichen VermessungsingenieurInnen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (DACH 2021) auszurichten.

Die Veranstaltung mit dem Thema „Digitalisierung und Künstliche Intelligenz im Vermessungswesen“ fand von 09.09. bis 11.09.2021 im Schloßhotel Mondsee statt. Ziel war der Meinungs- und Erfahrungsaustausch, der Blick über die Grenzen des eigenen Landes hinaus, um innovative Ideen oder neue Lösungsansätze für bestehende Probleme zu finden.

An dieser Stelle möchten wir uns sehr herzlich bei den etwa 135 TeilnehmerInnen für ihr Interesse bedanken. Am Freitag, dem 10.09.2021, fanden die hochkarätig besetzten Vorträge statt.

- Johannes Schwarz (CH), Leica Geosystems AG: „Die Zunft der Vermesser: Seit Jahrzehnten Vorreiter in der Digitalisierung“

- Pat. Ing. Peter Dütschler (CH), Dütschler+Partner AG: „Der Vermesser 4.0“
- Präsident DI Wernher Hoffmann (A), Leiter des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV): „Digitale Archive und Strukturierter Plan – Prozessdigitalisierung im Kataster“
- Prof. Dr.-Ing. Christian Clemen (D), HTW Dresden: „Warum Grundstücksdaten für BIM?“
- Prof. DI Dr.techn. Werner Lienhart (A), TU Graz: „Die Bedeutung von Digitalen Zwillingen und Glasfaserkabel in der modernen Bauwerksüberwachung“
- DI Gerald Fuxjäger (A), Vermessung ADP Rinner ZT GmbH, Graz: „Brückeninspektion: Datenerfassung, -prozessierung, und -analyse – Ein moderner Ansatz“
- DI Valentin Schuster (A), Vermessung AVT-ZT-GmbH: „Papierloses Büro“

Zeitgleich zu den Vorträgen fand unter dem Titel „Markt der Möglichkeiten“ eine Fachausstellung statt und bot 16 verschiedenen Unternehmen und Organisationen die Möglichkeit, ihre innovativen Produkte und Ideen dem Fachpublikum vorzustellen.

Christian Lidl

Open GI News

Zusammengestellt und bearbeitet von Dipl.-Ing. Markus Mayr

1. News

1.1 Tag für Triangulationspunkte

A W **survey point** is a triangulation pillar, geodetic vertex, or other piece of fixed equipment used by topographers. These points are normally in a fixed location and of a known altitude used for old-fashioned surveying.

Inhaltsverzeichnis

[Verbergen]

- 1 How to map
 - 1.1 Structure
 - 1.2 Condition
 - 1.3 Purpose
 - 1.4 Notes
- 2 Rendering
- 3 Possible Tagging Mistakes

 **man_made =**
a · d · b

survey_point



Description

A triangulation pillar, geodetic vertex, or other piece of fixed equipment used by topographers. 

Group: Man made

Used on these elements






Abb. 1: Tag der Triangulationspunkte (Quelle: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Tag:man_made%3Dsurvey_point).

Erstaunlich, dass es so etwas bisher noch nicht gab, aber nun ist es endlich so weit: Mit 04.07.2021 gibt es ein offizielles <Tag>, mit dem man in der OpenStreetMap Vermessungspunkte beschreiben kann (man_made = survey_point). Es kann der Typ der Kennzeichnung (beispielsweise als Plakette, Stein, Pflöck, etc...) und dessen Messwert (Höhenmesspunkt, Verortungspunkt) beschrieben werden. Details sind unter https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Proposed_features/Survey_Markers zu finden.

1.2 Tierarzt – Tagging

<pre>amenity=veterinary veterinary=practice veterinary:treats:rabbit=yes</pre>	A small veterinary that - among others - treats rabbits.
<pre>amenity=veterinary veterinary=practice veterinary:treats:bird=yes</pre>	A small veterinary that - among others - treats birds.
<pre>amenity=veterinary veterinary=clinic veterinary:treats:horse=only</pre>	A vet-clinic that only treats horses.

Abb. 2: Tierarzt <Tagging> (Quelle: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Proposed_features/veterinary).

Mapper „Valerio_Bozzolan“ hat im Jahr 2012 ein Mapping-Schema für Tierärzte entworfen, welches aber noch nicht offiziell übernommen wurde (https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Proposed_features/veterinary). Im <Tag> kann die Größe der Tierarztpraxis und die Tierarten, welche in der Praxis behandelt werden, erfasst werden. Ziel war, spezielle Tierärzte für sein Kaninchen zu mappen, da laut ihm in Italien nur spezielle Tierärzte für Kaninchen (exotic experts) zuständig sind. Das Ergebnis seiner Eintragungen beschreibt er unter https://www.openstreetmap.org/user/Valerio_Bozzolan/diary/397863.

1.3 Trainingszone für Lawinensuchgeräte

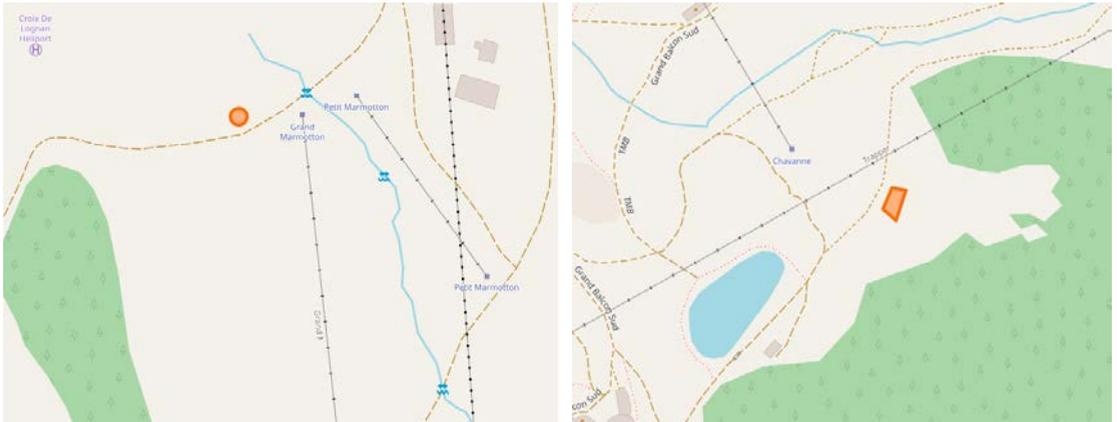


Abb. 3: Beispiel für die Anzeige eines LVS-Kontrollpunktes und einer LVS-Trainingszone (Quellen: <https://www.openstreetmap.org/way/879207687>, <https://www.openstreetmap.org/node/8179179558>).

Unter https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Proposed_features/Avalanche-transceiver befindet sich ein Vorschlag in Ausarbeitung, wie Gegenden gemapped werden sollten, die zum Üben von Lawinenschüttersuchgeräten (LVS-Geräte / avalanche transceiver) dienen.

Dem Autor war nicht bewusst, dass es solche Zonen überhaupt gibt; diese sind in Hinblick dessen, dass Lawinenschüttersuchgeräte einige Besonderheiten bei der Bedienung aufweisen, sicherlich sinnvoll.

1.4 Begrenzung der Kartendownloads

Die „OpenStreetMap Foundation“ stellt unter tile.openstreetmap.org eine (generiert aus der OpenStreetMap Datenbank) frei verwendbare Karte zur Verfügung (das ist die gleiche Karte, die unter www.osm.org aufgerufen werden kann).

Es gibt ein Regelwerk namens „Tile Usage Policy“, das die übermäßige Benutzung dieser Karten untersagt. Es ist in Ordnung, wenn man diese Karte für Versuche oder wenig genutzte freie Services heranzieht. Wenn man allerdings eine kommerzielle Anwendung mit vielen Aufrufen betreibt, dann sollte eine eigene Karte aus den OpenStreetMap Daten generiert werden.

Leider halten sich nicht alle Kartennutzer daran, einige führen sogar gezielt Massendownloads durch.

Die „OpenStreetMap Foundation“ hat daher einen automatischen Sperrmechanismus eingerichtet, welcher 13% der größten Massen-Kartendownloads blockiert. Diese 13% werden erstaunlicher Weise von nur 0,001% aller Nutzer verursacht! Nur eine Handvoll Anwendungen/Programmierer haben also einen großen Teil der Last verursacht.

Die Original-Meldung ist unter https://twitter.com/OSM_Tech/status/1416493384714252288 zu finden.

1.5 Benennung des Schneebergs

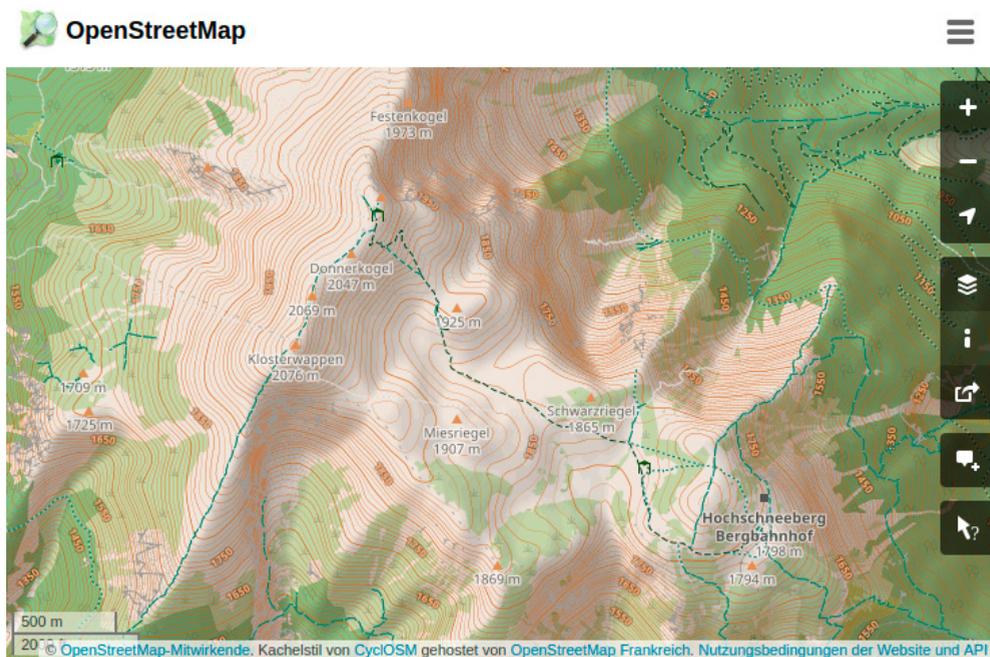


Abb. 4: Das Gebiet des Schneebergs auf der OSM-Homepage (Quelle: <https://www.openstreetmap.org>).

Auf <https://lists.openstreetmap.org/pipermail/talk-at/2021-July/011248.html> wird über die korrekte Benennung des Schneebergs diskutiert. Es ist herausfordernd, in automatisch generierten Karten den Namen von flächigen Gebirgszügen anzuzeigen, so auch in der Standard-Ansicht der OpenStreetMap Karte, denn dort wird ein flächiger Gebirgszug nicht namentlich abgebildet.

So entstand die Diskussion, ob man nicht den Namen „Schneeberg“ auf den höchsten Gipfel dieses Gebietes eintragen soll. Damit würde aber dann der Name des Gipfels (zum Beispiel „Klosterwappen“) nicht mehr angezeigt werden.

Im Zuge der Diskussion hat sich ein allgemeines Dilemma herausgestellt, da der Name eines Berges nicht automatisch der Name eines Gipfels ist, der Name des Berges in verschiedenen Kartenwerken aber meistens auf den höchsten Gipfel gesetzt wird.

1.6 Geneigte Grenzen

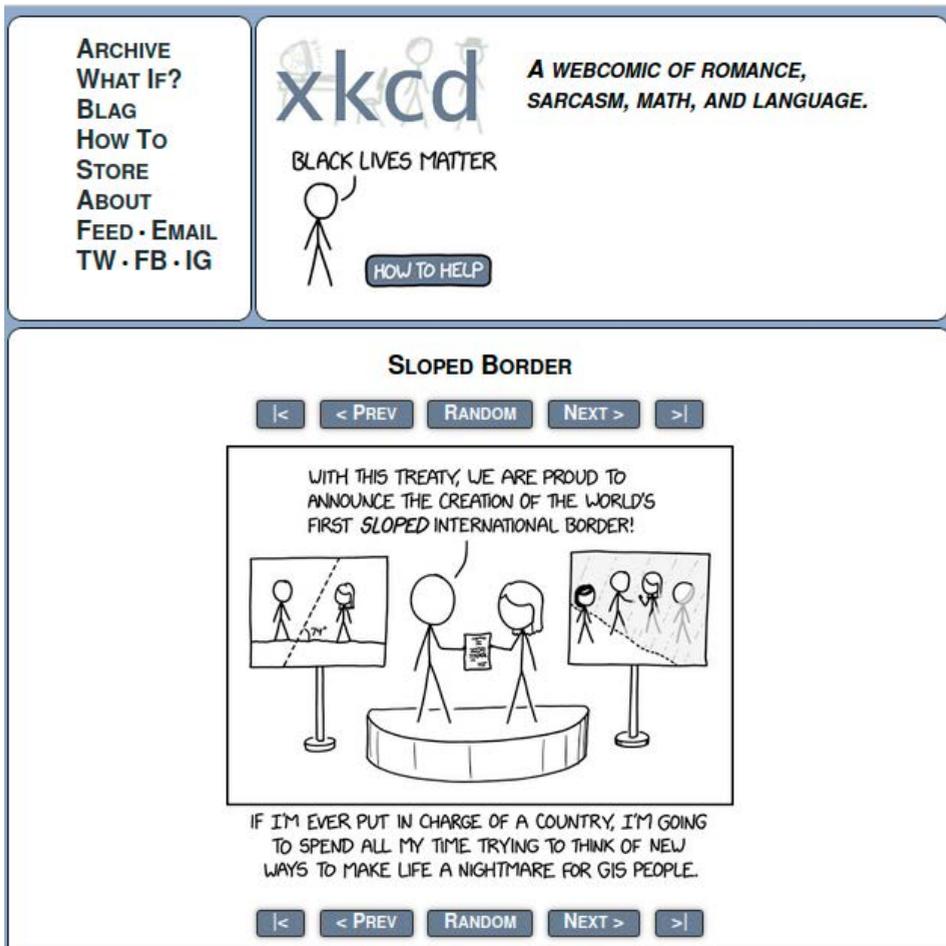


Abb. 5: „Sloped Border“ von Randall Munroe (Quelle: <https://xkcd.com/2519/>)

Der WebComic „XKCD“ von Randall Munroe (<https://xkcd.com>) hatte in der Vergangenheit immer wieder auch geographische Themen behandelt. Diesmal wird satirisch ein Szenario beschrieben, in welchem eine nicht-senkrechte Staatsgrenze geschaffen wird.

Das hat die OpenStreetMap Community nicht davon abgehalten, auf Reddit tatsächlich darüber zu diskutieren, ob und wie solch eine geneigte Staatsgrenze abgebildet werden könnte. Siehe dazu: https://www.reddit.com/r/openstreetmap/comments/ptsjo8/xkcd_sloped_border/

1.7 Praktiken bei der Firma MapBox

Die US-Amerikanische Firma MapBox war ein Startup, das viel freie GIS Software und OpenStreetMap Daten benutzt. In den letzten Jahren ist die Firma gewaltig gewachsen und hat eigene Tools und Software entwickelt. Neben immer wieder in der Community diskutierten Praktiken der Firma kommen mit diesem Wachstum auch neue Herausforderungen und Themen.

Nachdem der Versuch einiger MapBox-Mitarbeiter zur Gründung eines Betriebsrates (engl. „Workers Union“) gescheitert ist, berichten die betroffenen Mitarbeiter auf Twitter von Schikanen durch ihren (zum Teil ehemaligen) Arbeitgeber. Mehr Informationen dazu unter: <https://twitter.com/MapboxUnion/status/1440794703780200455>

1.8 Vulkanausbruch auf LaPalma



Abb. 6: Vom Lavafluss unterbrochene Straßen auf der Insel La Palma, dargestellt in OpenStreet-Map (Quelle: <https://twitter.com/CharlesTroupin/status/1440592392201981952?s=19>)

Der Vulkanausbruch auf der Insel La Palma wird von OpenStreetMap Mappern in nahezu Echtzeit gemapped, was von einigen Geologen auf Twitter mitverfolgt wird: <https://twitter.com/CharlesTroupin/status/1440592392201981952?s=19>

1.9 Importleitfaden für OpenStreetMap

Richard Fairhurst hat einen Leitfaden zusammengestellt, der speziell Behörden das Vorgehen beim Import von eigenen Daten in die OpenStreetMap beschreibt: <https://blog.openstreetmap.org/wp-content/uploads/2020/07/Providing-data-to-OpenStreetMap.pdf>.

In Deutscher Sprache gibt es einen ähnlichen Leitfaden, welcher von der Forschungsstelle „Digitale Nachhaltigkeit“ der Universität Bern im Auftrag des eidgenössischen Bundesamtes für Verkehr (BAV) bereitgestellt wird: https://boris.unibe.ch/159438/1/210917_OSM_Leitfaden.pdf.

In diesem umfangreichen Dokument wird auf alle Teilaspekte eines Importprozesses, wie Eignung der Daten, Kontaktaufnahme mit der community und etc.. eingegangen.

2. Projekte

2.1 Mobile OpenStreetMap Karte

Es gibt verschiedene Anwendungen, mit denen OpenStreetMap Karten am Handy selbst ohne aktiver Internetverbindung genutzt werden können. Der Autor verwendet zu diesem Zweck bisher „OSMAnd“ (<https://osmand.net/de/>).

Mit der App „OrganicMaps“ gibt es eine neue werbefreie Alternative, welche zwar nicht so viele Funktionen besitzt, dafür aber schneller lädt und läuft: <https://github.com/organicmaps/organicmaps#readme>. Mit dieser App kann man OpenStreetMap Landkarten offline anzeigen, Orte suchen und Routenberechnungen durchführen. Auf den ersten Blick macht die App einen guten Eindruck.

2.2 Alternative zu GPS

Es gibt mehrere Satellitennetzwerke, die zur Positionsbestimmung auf der Erde genutzt werden. Prominente Beispiele dafür sind z.B. das US-Amerikanische „GPS“ oder das Europäische „Galileo“.

All diese Satellitensysteme haben gemein, dass sie von staatlichen Institutionen betrieben werden. Einige davon stammen aus militärischen Unterfangen und können oder werden vom Betreiber bewusst abgeschaltet oder gestört.

Wissenschaftler an der University of New Brunswick erproben daher ein alternatives Satellitenpositionierungssystem, welches bestehende Satellitennetzwerke (wie z.B. das „StarLink“ System) von erdnahen Internetkommunikationssatelliten benutzt: <https://www.science.org/content/article/scientists-create-their-own-gps-spying-internet-satellites>.

Für die Positionsbestimmung wird der Doppler-Effekt mehrerer gleichzeitig beobachteter Satelliten genutzt, wobei eine Genauigkeit von 7-9 Metern in der Positionsbestimmung erreicht wurde.

Da sich diese Satelliten näher an der Erde befinden und ihr Signal daher stärker als jenes von üblichen Positionsbestimmungssatelliten ist, funktioniert die Positionsbestimmung mit dieser Methode auch in für Satelliten schlechter erreichbaren Gegenden, wie beispielsweise in Tälern, bei Bewölkung oder bei Lokalisierungen unter einem Blätterdach.

2.3 Geschichtsmapping mit YouTube Videos

Speziell für Historiker stellt „Anne-Karoline Distel“ (Mapperin „b-unicycling“) auf ihrem YouTube Kanal (<https://www.youtube.com/c/OSMforHistoryBufs>) Anleitungsvideos zum Mappen von historischen Daten in der OpenStreetMap zur Verfügung. Dabei zeigt sie unter anderem, wie Kunstwerke oder Windmühlen am besten in die OpenStreetMap eingetragen werden. Aber auch Themen abseits des Mappings werden behandelt, wie beispielsweise die Erstellung einer Baumkarte aus OpenStreetMap Daten.

The screenshot shows the YouTube channel page for Anne-Karoline Distel. The channel has 192 subscribers and a red 'ABONNIEREN' button. The video section displays four videos:

Video Title	Duration	Views	Time Ago
Mapping Youghal on OpenHistoricalMap	31:43	34 Aufrufe	vor 6 Tagen
Introduction to OpenHistoricalMap - Time...	13:49	106 Aufrufe	vor 1 Woche
Adding artwork to OpenStreetMap	15:50	39 Aufrufe	vor 2 Wochen
Adding a windmill to OpenStreetMap	7:57	24 Aufrufe	vor 3 Wochen

Abb. 7: YouTube Kanal von Anne-Karoline Distel (Quelle: <https://www.youtube.com/c/OSMforHistoryBufs>)

3. Weitere Infos

Weitere Neuigkeiten rund um OpenStreetMap und freie GIS Software stellt das wöchentlich aktualisierte deutschsprachige OpenStreetMap Blog <http://weeklyosm.eu/de/> und die monatlichen Reports der Operations Working Group unter <https://gravitystorm.github.io/owg-log> zur Verfügung.

Grenzsteine, die Geschichten erzählen

Grenzstein Katzelsdorf 1464

Bei Grabungsarbeiten in Katzelsdorf (NÖ) wurde 1960 ein monumentaler Grenzstein freigelegt. Auf Grund der Jahreszahl und des Wappens konnte der Stein Hanns Roll, im 15. Jhd. Bürgermeister von Wr. Neustadt, zugeordnet werden. Der Grenzstein ist also mehr als 550 Jahre alt!



Foto: Ch. Twaroch

In einer Expertise schreibt das NÖ Landesmuseum dazu: „... dass es sich um einen Grenzstein mit der Jahreszahl 1464 und mit dem Wappen des Wiener Neustädter Bürgers Hans (Hanns) Roll handelt, der in der Zeit von 1467 bis 1472 Bürgermeister von Wiener Neustadt war. Hans Roll, der schon vor seinem Bürgermeisteramt, von 1461 an in der Stadtvertretung von Wiener Neustadt zu finden war – so z.B. im Jahr 1464 als „Raitherr“ – dürfte Grundstücke besessen haben, die entweder bis an das Gemeindegebiet von Katzelsdorf heranreichten oder sich schon auf Katzelsdorfer Areal befanden ...“

Da es sich bei dem vorliegenden Stein, dank seiner Verwahrung im Boden, um ein sehr gut erhaltenes Exemplar handelt, das auch in Anbetracht relativ hohen Alters einen gewissen Stellenwert besitzt, ist eine Neuaufstellung an geeigneter Stelle durchaus zu begrüßen. ...“

(NÖ Landesmuseum, 598/60)

Frau H. Handler-Woltran, Altbürgermeisterin von Katzelsdorf, schreibt ergänzend dazu: „... Vermutlich wurde dieser Grenzstein im Zuge eines Hochwassers abgeschwemmt und im Bereich der heutigen Bahnstraße in einer Tiefe von 1,5 m begraben und somit erhalten ...“

[Anm.: Im franziszeischen Kataster findet sich am Anfang des „Grund Parzellen Protocoll(s) der Gemeinde Katzelsdorf“ die „Haupt Anmerkung“: „Die Gemeinde Katzelsdorf unterliegt durch den Austritt der Leytha sehr der Ueberschwemmung“]. Frau Handler-Woltran weiter: „... Es war sicher eine aufregende Zeit – Wr. Neustadt als Residenzstadt Kaiser Friedrich III., Maximilian I. in Kinder- und Jugendjahren, Aufstand des steirischen Adels und ständig die Gefahr aus Ungarn. ...“

Der Grenzstein wurde von der Gemeinde am nördlichen Ortsende neben dem Kriegerdenkmal neu aufgestellt (WGS84 16°16'06,0" 47°47'04,7"). Auch wenn der Grenzstein nicht mehr an seiner ursprünglichen Stelle steht, hat er wegen seiner besonderen Ausgestaltung, seines Alters, seiner Größe und vielleicht auch wegen seiner Geschichte Aufnahme in den Dehio Kunstführer gefunden (Dehio NÖ südlich der Donau, 2003, 912).

Im Museum in Wr. Neustadt ist ein Wappenstein von Hans Roll zu sehen.



Foto: H. Handler-Woltran

(Red.)

Sie kennen einen interessanten Grenzstein ?

Senden sie uns einen Beitrag zu der Rubrik „Grenzsteine, die Geschichten erzählen“

Aus dem Vereinsleben



Die Jubilare des BEV (im Bild zu sehen v.l.n.r.: Hannes Taborsky, Bernhard Mairamhof, Julius Ernst, Robert Edelmaier, Gerhard Paul, Michael Franzen, Haimo Arnold, Wernher Hoffmann).

Auszeichnungen im BEV

Der Herr Bundespräsident hat an fünf verdiente Beamte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) hohe bundesstaatliche Auszeichnungen verliehen. Am 30. September 2021 überreichte Herr Präsident DI Wernher Hoffmann, in Beisein des Vorsitzenden des Fachausschusses sowie aller Gruppen- und Bereichsleiter, die entsprechenden Ehrenzeichen und Dekrete an die Geehrten.

Anlässlich des Übertrittes in den Ruhestand wurde Herrn Hofrat DI Michael Franzen die nächsthöhere Verwendungsbezeichnung „Vizepräsident“ verliehen. Er hat als Leiter der Gruppe Vermessungswesen und davor als Leiter der Abteilung Fernerkundung stets ein besonderes Augenmerk auf Kundenbedürfnisse und ressortübergreifende Zusammenarbeit gelegt, um so das BEV und seine Produkte für einen größtmöglichen Personenkreis nutzbar zu machen. In diesem Zusammenhang wurden besonders die Projekte und Kooperationen mit dem Bundesministerium für Landesverteidigung, dem Landwirtschaftsministerium und dem Verkehrsministerium hervorgehoben.

Herrn Vizepräsident Mag. Robert Edelmaier wurde das „Große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich“ verliehen. Er hat national die Entwicklung des Mess- und Eichwesens in Österreich maßgeblich beeinflusst und mitgestaltet. Dabei hat er immer darauf geachtet, dass technische Entwicklungen auch für die

Verwender von Messgeräten umsetzbar sind. Die internationalen Kontakte und die Mitarbeit in europäischen Projekten wurden ebenso hervorgehoben wie die Mitgestaltung des Laborneubaus in der Artgasse.

Herrn Hofrat DI Julius Ernst wurde das „Große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich“ verliehen. Er hat als Fachkoordinator an allen maßgeblichen gesetzlichen Änderungen der vergangenen zwei Jahrzehnte entscheidend mitgewirkt und damit den österreichischen Kataster wesentlich geprägt.

Herrn Hofrat DI Gerhard Paul wurde das „Große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich“ verliehen. Er hat die Österreichische Karte mit dem digitalen Landschaftsmodell als Leiter der Abteilung Landschaftsinformation in eine neue technologische Zeit geführt. Besonders hervorgehoben wurde auch die Entwicklung des zentralen Luftfahrthindernisregisters.

Herrn Hofrat DI Haimo Arnold wurde das „Große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich“ verliehen. Er war maßgeblich bei der Digitalisierung der Katastralmappe beteiligt. Gleichzeitig hat er im Fachteam Kataster in der Gruppe Eich- und Vermessungsämter wesentlich an der Weiterentwicklung bei der katastertechnischen und rechtlichen Fragestellung mitgewirkt. Als Behördenleiter hat er zur Verbesserung der Arbeitsabläufe in den Vermessungsämtern beigetragen.

Josef Gundinger

Herzliche Gratulation zu einem Jubiläum im August, September und Oktober 2021

50. Geburtstag

Dipl.-Ing. Herbert Böhm, Wien

60. Geburtstag

Dipl.-Ing. Bernhard Mairamhof, Wien
Dipl.-Ing. Erich Brezovsky, Gänserndorf

70. Geburtstag

Baurat Dipl.-Ing. Wolfgang Meixner, Wien
Dipl.-Ing. Wolfgang Hofbauer, Retz

80. Geburtstag

Dipl.-Ing. Erwin Postmann, Pinkafeld
Dipl.-Ing. Albin Rentenberger, Wien

Dipl.-Ing. Günther Moser, Lieboch
em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Dörner,
Reichenau

Dipl.-Ing. Anton Kossina, Salzburg
em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter Chesi,
Schwaz

85. Geburtstag

Dipl.-Ing. Heinz Murlasits, Bad Tatzmannsdorf

Wir begrüßen als neues Mitglied

Dipl.-Ing. Lionel Dorffner, Wien
Salih Özdemir B.Eng, Salzburg
Andreas Käfer BSc, Graz
Peter Boschi BSc, Wien

Veranstungskalender

Oldenburger 3D-Tage

02.02. – 03.02.2022 Oldenburg, Deutschland
<https://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/wir-stellen-uns-vor/veranstaltungen/oldenburger-3d-tage/>

Land and Poverty Conference

21.03. – 25.03.2022 Washington, D.C., USA
<https://gltn.net/event/land-and-poverty-conference-2020-institutions-for-equity-and-resilience/>

GEO Week – International LiDAR Mapping Forum (ILMF)

06.02. – 08.02.2022 Denver, CO, USA
<https://www.geo-week.com/ilmf/>

European Geosciences Union (EGU)

03.04. – 08.04.2022 Wien, Österreich
<https://www.egu22.eu/>

Munich Satellite Navigation Summit

07.03. – 09.03.2022 München, Deutschland
<https://www.munich-satellite-navigation-summit.org/>

Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)

06.04. – 08.04.2022 Valencia, Spanien
<https://jisdm2022.webs.upv.es>

International Conference and Exhibition on Geospatial & Remote Sensing (IGRSM)

08.03. – 09.03.2022 ONLINE
<https://ieeemy.org/section/events/11th-igrsm-international-conference-and-exhibition-on-geospatial-remote-sensing-igrsm-2022/>

Schematic Mapping Workshop

21.04. – 22.04.2022 Würzburg, Deutschland
<http://www1.pub.informatik.uni-wuerzburg.de/pub/schematicmapping2021/>

DGPF Jahrestagung

09.03. – 09.03.2022 Dresden, Deutschland
<https://www.dgpf.de/>

AUVSI XPONENTIAL

25.04. – 28.04.2022 Orlando, FL, USA
<https://www.xponential.org/xponential2021/public/Content.aspx?ID=3959>

Österreichischer Geodätentag

26.04. – 29.04.2022 Steyr, Österreich
<http://www.geodaetentag.at>

!! Verschoben auf 2023 !!

International Conference on GI Systems (GISTAM)

27.04. – 29.04.2022 ONLINE
<https://gistam.scitevents.org/>

Geospatial World Forum

09.05. – 12.05.2022 Amsterdam, Niederlande
<https://geospatialworldforum.org/>

Internationales 3D-Forum Lindau

10.05. – 11.05.2022 Lindau, Deutschland
<http://www.3d-forum.li/>

International Conference on Communications (ICC)

16.05. – 20.05.2022 Seoul, Südkorea
<https://icc2022.ieee-icc.org/>

International Symposium on Mobile Mapping Technology (ICMMT)

23.05. – 24.05.2022 Montreal, Kanada
<https://waset.org/mobile-mapping-technology-conference-in-may-2022-in-montreal>

EUREF Symposium

01.06. – 04.06.2022 Zagreb, Kroatien
http://www.euref.eu/euref_symposia.html

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress

06.06. – 11.06.2022 Nizza, Frankreich
<http://www.isprs2020-nice.com/>

International Conference on Geology & Earth Science (ICGES)

10.06. – 12.06.2022 Bangkok, Thailand
<http://www.icges.org/>

International Conference on Cartography & GIS

20.06. – 25.06.2022 Nessebar, Bulgarien
<https://iccgis2020.cartography-gis.com/>

GEOSummit

23.06. – 24.06.2022 Bern, Schweiz
<https://www.eventalways.com/geosummit>

GI Salzburg (AGIT)

05.07. – 08.07.2022 Salzburg, Österreich
<http://www.gi-salzburg.org/>

ESRI USER CONFERENCE

11.07. – 15.07.2022 San Diego, CA, USA
<https://www.esri.com/en-us/about/events/uc/save-date>

FOSS4G-Europe

22.08. – 27.08.2022 Florenz, Italien
<https://www.osgeo.org/foundation-news/foss4g-2022/>

Innsbruck Summer School of Alpine Research

18.09. – 24.09.2022 Obergurgl, Österreich
<https://www.uibk.ac.at/geographie/summerschool/2022/>

EuroCarto

19.09. – 21.09.2022 Wien, Österreich
<https://eurocarto2022.org/>

World Congress on Geology & Earth Science

22.09. – 23.09.2022 Barcelona, Spanien
<https://geology-earthscience.com/>

FIG Congress

September/Oktober 2022 Warschau, Polen
<https://www.fig.net/fig2022/>

INTERGEO

18.10. – 20.10.2022 Essen, Deutschland
<https://www.intergeo.de/>

Trimble Dimension

07.11. – 09.11.2022 Las Vegas, USA
<https://dimensions.trimble.com/>

Mobile Laser Scanning Technology Workshop (MoLaS)

23.11. – 24.11.2022 Freiburg, Deutschland
<https://www.molas.fraunhofer.de/>

OVG-Vorträge Wintersemester 2021/2022

Details zum Online Zugang werden auf der OVG-Homepage veröffentlicht

Vortragsprogramm Graz

Veranstaltungsort:

TU Graz – Institut für Geodäsie

Hörsaal BE01, EG

Steyrergasse 30, 8010 Graz

Mittwoch, Workshop: Aufbau des Klima-Informationssystems Graz (KIS)
19. Jänner 2022,
16 Uhr 30

Vortragsprogramm Innsbruck

Veranstaltungsort:

Universität Innsbruck

Hörsaal B6, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck

<https://www.uibk.ac.at/geometrie-vermessung/veranstaltungen/geodaesie/vortraege.html>

Mittwoch, „Die Vermessung der Welt mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz – Besser als der Mensch?“
19. Jänner 2022,
18 Uhr 15 *Prof. Dr. habil. Alexander REITERER*
Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM, und Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Vortragsprogramm Wien

VIRTUELL (ONLINE)

Mittwoch, „KI-basierte Erkennung und Verortung von Objekten mittels 3D Bilddaten“
19. Jänner 2022,
17 Uhr 00 *Dipl.-Ing. Univ. Dr. techn. Sebastian BÖCK*
Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias DORFER
EnliteAI GmbH, Wien



Osterreichische Gesellschaft für
Vermessung und Geoinformation

#wirsehenweiter
Von der Vision zur Anwendung



Themenswerpunkte:

+Nachhaltigkeit und Geodäsie

+Neue Technologien und KI in Wissenschaft und Praxis

Willkommen zu erweiterten Perspektiven am

14. GEODÄTENTAG

Verschieben auf 2023

www.geodaetentag.at