



Increasing Localization Robustness in a LiDAR-focused SLAM with a combined IMU and wheel odometry model

E. Reitbauer, Ch. Schmied, F. Theurl

Die Grenze Kärntens zu Slowenien – Grenzlinienfindung nach dem Vertrag von St. Germain

D. Kollenprat

100 Jahre »Missão Cartográfica Austríaca« in Brasilien 1920-1924

M. Hiermanseder

kataster.bev.gv.at


Schnell

Einfach

Kostenlos

Tagesaktuell



 Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

Kostenlos, schnell und userfreundlich:
Das Katasterservice bringt Zugang zu den tagesaktuellen
Informationen zu 10 Millionen österreichischen Grundstücken.
Für die Innovationskraft wurde das Service mit dem
Verwaltungspreis 2023 ausgezeichnet. [bev.gv.at](https://kataster.bev.gv.at)





Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation

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

112. Jahrgang 2024

Heft: 1/2024

ISSN: 1605-1653

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Andreas Pammer

Stellvertreter: Dipl.-Ing. Ernst Zahn

Dipl.-Ing. (FH) Georg Topf

Dipl.-Ing. Hartwig Ortbauer

A-1020 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

Internet: <http://www.ovg.at>

<i>W. Lienhart:</i> Verleihung des Karl Rinner Preis 2022	3
<i>M. Wieser:</i> Laudatio anlässlich der Verleihung des Karl Rinner Preises 2022 an Dr.ⁱⁿ Eva Reitbauer	
<i>E. Reitbauer, Ch. Schmied, F. Theurl:</i> Increasing Localization Robustness in a LiDAR-focused SLAM with a combined IMU and wheel odometry model	6
<i>D. Kollenprat:</i> Die Grenze Kärntens zu Slowenien – Grenzlinienfindung nach dem Vertrag von St. Germain	16
<i>M. Hiermanseder:</i> 100 Jahre »Missão Cartográfica Austríaca« in Brasilien 1920-1924	30
Dissertationen, Diplom- und Magisterarbeiten	38
Grenzsteine – Steine erzählen Geschichte(n)	41
Aus dem Vereinsleben	43
Veranstaltungskalender	44



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

112. Jahrgang 2024 / 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. Franz Blauensteiner, Tel. +43 1 21110-822216, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien.

Sekretariat der Gesellschaft: Dipl.-Ing. Dr. Lothar Eysn, Tel. +43 1 21110-822711, 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, Dipl.-Ing. Hartwig Ortbauer, Tel. +43 1 21110-822715, 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. Franz Blauensteiner, Univ.-Prof. Dr. Werner Lienhart, Univ.-Prof. Dr. Norbert Pfeifer, Prof. Dr. Josef Strobl 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 25 €, Ausland 30 €; Abonnement: Inland 70 €, Ausland 90 €; alle Preise exklusive 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 2022



v.l.: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Werner Lienhart, Dipl.-Ing. Dr.ⁱⁿ Eva Reitbauer, Dipl.-Ing. Peter Skalicki-Weixelberger

Eine der Kernaufgaben der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) ist den Fachbereich der Geodäsie zu fördern und in der breiten Öffentlichkeit bekannter zu machen. Zu diesem Zweck 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 und 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.

In ihrer Sitzung am 12. Mai 2023 hat die Österreichische Geodätische Kommission beschlossen, den Karl Rinner Preis 2022 an Dr.ⁱⁿ Eva Reitbauer für ihre Publikation mit dem Titel *Subterranean positioning for a semi-autono-*

mous robot supporting emergency task forces zu vergeben. Diese Publikation entstand im Rahmen ihrer Forschungstätigkeit am Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Navigation, der TU Graz. Publiziert und präsentiert wurde diese Arbeit im Jahr 2022 bei der International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS).

Die Ehrung der Preisträgerin fand am 13. Dezember 2023 an der TU Graz statt, an der über 50 Gäste vor Ort sowie rund 20 Gäste online teilnahmen. Nach der von a.o. Univ.-Prof. Dr. Manfred Wieser gehaltenen Laudatio wurde die Karl Rinner Preis Urkunde durch den Präsidenten der ÖGK Univ.-Prof. Dr. Werner Lienhart sowie der Preisscheck durch DI Peter Skalicki-Weixelberger als Vertreter der Bundesfachgruppe Vermessungswesen der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen überreicht. Im Anschluss an die Preisverleihung hielt Dr.ⁱⁿ Eva Reitbauer ihren Festvortrag.

Besonderer Dank gilt der TU Graz für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und der IT-Infrastruktur sowie der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen für das Sponsoring des Preises.

Werner Lienhart

**Laudatio anlässlich der Verleihung des
Karl Rinner Preises 2022 an
Dr.ⁱⁿ Eva Reitbauer**

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Eva,

bei Sponsionen und Promotionen heißt es: „Ihnen in der ersten Reihe gebührt diese Feierstunde.“ Heute ist es Frau Eva Reitbauer, ihres Zeichens bereits graduierte Diplomingenieurin und Doktorin der Technischen Wissenschaften, um die es geht.

Die gebürtige Grazerin Eva Reitbauer ist frisch gebackene Trägerin des Karl Rinner Preises und es gilt nun, ihre Leistungen, im Allgemeinen und im Speziellen, zu würdigen.

Nach Absolvierung der Graz International Bilingual School (kurz GIBS, einem Gymnasium in Graz) beginnt Eva Reitbauer Ihren akademischen Werdegang mit dem Studium der Geodäsie an der Technischen Universität Graz. Zunächst absolviert sie das Bachelorstudium Geomatics Engineering und dann das Masterstudium Geomatics Science (Vertiefung Navigation und Satellitengeodäsie). Beide Studien hat sie in Mindeststudiendauer und mit Auszeichnung absolviert. Mit dieser Performance hat sie auch einige Leistungsstipendien eingeheimst. Während des Masterstudiums war sie für ein Semester an der ETH Zürich und hat für das Masterstudium sogar den Würdigungspreis des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung erhalten. Im Anschluss ist sie im Rahmen der Doctoral School Geosciences, Class of Geodesy, in das Doktoratsstudium eingetreten und hat im Oktober 2022 mit dem Rigorosem das Doktoratsstudium mit Auszeichnung abgeschlossen.

Ihren beruflichen Werdegang an der TU Graz startete Eva Reitbauer zunächst als Studienassistentin und studentische Projektmitarbeiterin. Dann folgten einige Monate als Projektassistentin und mehrere Jahre als Universitätsassistentin am Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Navigation der TU Graz. Seit ersten Oktober 2023 bekleidet sie eine Professorinnenlaufbahnstelle mit dem Ziel, sich zu habilitieren. Die Bilanz kann sich für ihre so junge wissenschaftliche Karriere mehr als sehen lassen: an die 20 Veröffentlichungen und einiges an Vorträgen und Tagungsteilnahmen. Und das trotz einer Zeit voll von pandemiebedingten Unwegsamkeiten.

Ein Eckpfeiler im Wirken von Eva Reitbauer war und ist die Beteiligung an einer Vielzahl von

kooperativen Forschungsprojekten. Sie stellt ihre Frau in der Antragsphase genauso wie bei der organisatorischen und thematischen Abwicklung. Dabei liegt der Fokus auf der Integrierten Navigation. Es geht um Positionsbestimmung und Zielführung von sich bewegenden Objekten unter Verwendung von Multisensorsystemen. Eva Reitbauer beherrscht die Auswahl geeigneter Sensoren und die Auswahl maßgeschneiderter Methoden der Signalverarbeitung meisterlich und bringt sie in vielfältiger Art zur Anwendung.

Drei von vielen Beispielen, in diesen geht es um autonome Steuerung, seien erwähnt:

Die Indoor-Positionsbestimmung von Fahrzeugen zum Zweck der autonomen Steuerung war Thema in Eva Reitbauers Masterarbeit. Die Arbeit ist etwa relevant, wenn das Fahrzeug an der Tiefgarage oder am Parkhaus abgegeben wird, es autonom einparkt und nach der Parkzeit wieder autonom herausfährt.

Das Meisterstück von Eva Reitbauer ist allerdings, dass sie dem sogenannten E-Wender das autonome Fahren beigebracht hat. Der E-Wender ist ein elektrisch angetriebener Kompostwender, welcher ein in sogenannten Dreiecksmieten aufgeschüttetes Material wendet und zwar zum Zweck des Recyclings von Bioabfällen. Obwohl es sich zugegebenermaßen nicht unbedingt um ein sexy Thema handelt, war das Unterfangen von großem Erfolg geprägt, so groß, dass ein Vortrag von Eva Reitbauer bei der ION mit dem „Best Presentation Award“ ausgezeichnet wurde und es mehr als genügend Stoff gab zum Abschluss von Eva Reitbauers Dissertation.

Parallel zu den Entwicklungen rund um den E-Wender gehen in jüngster Zeit Forschungen zur autonomen bzw. semi-autonomen Steuerung von Robotern vornehmlich im Indoor-Bereich, z.B. in Tunneln, einher, um etwa im Katastrophenfall Einsatzkräfte zu unterstützen. Die Thematik ist hochaktuell und gibt Anlass zu viel wissenschaftlichem Output: eine Publikation von Eva Reitbauer war konkreter Anlass zur Nominierung und Verleihung des Karl Rinner Preises. Das Paper wurde übrigens aus Anlass der International Conference on Localization and GNSS in Tampere in Finnland verfasst.

Neben der Forscherin gibt es die äußerst talentierte Hochschullehrerin: die Themen, an welchen Eva Reitbauer forscht, schlagen sich auch in ihren Lehrveranstaltungen und bei der Betreuung von Bachelor- und Masterarbeiten nieder. Sie versteht

es, Studierende zu begeistern, zu motivieren und zu Höchstleistungen anzuspornen. Neben Lehrveranstaltungen an der TU Graz gibt Eva Reitbauer Kurse beim Ziviltechnikerforum und auch am Campus Hagenberg der Fachhochschule Oberösterreich. Eva Reitbauer engagiert sich darüber hinaus bei der Bewerbung des Studiums im Umfeld von Schülern und Schülerinnen und bei der Frauenförderung im Graduate- und Postgraduate-Bereich an unserer Fakultät.

Hinter der Lehrenden und der Forscherin Eva Reitbauer steckt aber vor allem auch der Mensch Eva Reitbauer, wie etwa die Kollegin und Mitarbeiterin: zum ausgeprägten Teamgeist kommen eine uneingeschränkte Loyalität, aber auch Zielstrebigkeit gepaart mit einem gesunden Maß an Durchsetzungskraft und vor allem ein unbändiger Fleiß, so ganz nach dem Motto von Karl Rinner: „Wenn die 24 Stunden eines Tages nicht reichen, nehme man die Nacht hinzu.“ Neben dem Talent, eine

Meisterin im Umgang mit der englischen Sprache zu sein aber auch Französisch und Spanisch zu sprechen, frönt Eva Reitbauer der Leidenschaft in Form von sportlicher Betätigung, vor allem dem Schwimmen und dem Laufen. Da kann sie sich wohl die kleine „Schwäche“ leisten, dass sie sich dem Süßen vor allem in Form von Schokolade verschrieben hat.

Man kann mehr als dankbar sein, Eva Reitbauer auf Ihren bisherigen Wegen, auch den „süßen“, ein Stück weit begleitet zu haben und man kann ihr nur das Beste auf ihren künftigen Wegen, beruflich wie privat, wünschen und möge im Sinne von Konfuzius aber auch in Bezug auf die Navigation der Weg das Ziel sein.

Dem Auditorium sei sehr herzlichst für die Aufmerksamkeit gedankt und es wird um einen kräftigen Applaus für Eva Reitbauer gebeten.

Manfred Wieser

Jetzt Mitglied werden!



Wir bieten vieles..

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

➡ Näheres unter www.ovg.at ⬅

:: Be part of it! ::



Increasing Localization Robustness in a LiDAR-focused SLAM with a combined IMU and wheel odometry model

Erhöhung der Lokalisierungsrobustheit in einem LiDAR-basierten SLAM mit einem kombinierten IMU- und Rad-Odometrie-Modell



Eva Reitbauer, Christoph Schmied und Fabian Theurl, Graz

Dieser Beitrag wurde als „reviewed paper“ angenommen.

Abstract

Precise positioning and mapping are key technologies for autonomous robots. Most autonomous and semi-autonomous systems use a LiDAR-focused Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) in combination with MEMS¹ Inertial Measurement Units (IMU). When LiDAR fails and only IMU data are used to compute the state vector of the robot, errors accumulate. After a few seconds without LiDAR data, LiDAR-inertial SLAM systems can no longer register the scan after the outage to the already created map. This paper proposes a novel approach for fusing LiDAR, inertial, and wheel odometry in a factor graph for SLAM. A combined IMU and wheel odometry model is used as an initial guess for LiDAR scan matching and to bridge LiDAR outages. The algorithm is evaluated and tested for two different robot models. The results show that with the proposed IMU and wheel odometry model localization accuracy improves during LiDAR outages. After 30 seconds without LiDAR data, the LiDAR point clouds after the outage can still be matched to the previously created map.

Keywords: SLAM, factor graph optimization, LiDAR, IMU, wheel odometry

Kurzfassung

Präzise Positionierung und Kartenerstellung sind Schlüsseltechnologien für autonome Roboter. Die meisten autonomen und halbautonomen Systeme verwenden ein LiDAR-basiertes Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)-System in Kombination mit MEMS² inertialen Messeinheiten (IMU). Wenn LiDAR ausfällt und nur mehr IMU-Daten zur Berechnung des Zustandsvektors des Roboters herangezogen werden, werden Messfehler akkumuliert und die Position des Roboters driftet weg. Nach einigen Sekunden ohne LiDAR-Daten sind LiDAR-inertiale SLAM-Systeme nicht mehr in der Lage, den Scan nach dem Ausfall in der bereits erstellten Karte zu registrieren. In diesem Beitrag wird ein neuartiger Ansatz zur Fusionierung von LiDAR, Inertial- und Rad-Odometrie in einem Faktorgraphen für SLAM vorgestellt. Ein kombiniertes IMU- und Rad-Odometriemodell wird als erste Schätzung für den LiDAR-Scanabgleich und zur Überbrückung von LiDAR-Ausfällen verwendet. Der Algorithmus wird für zwei verschiedene Robotermodelle validiert und getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem neuen IMU- und Rad-Odometrie-Modell die Lokalisierungsgenauigkeit während LiDAR-Ausfällen verbessert wird. Nach 30 Sekunden ohne LiDAR-Daten können die LiDAR-Punktwolken nach dem Ausfall immer noch zur zuvor erstellten Karte registriert werden.

Schlüsselwörter: SLAM, Faktorgraph-Optimierung, LiDAR, IMU, Rad-Odometrie

1) Micro-Electro-Mechanical System

2) Mikro-Elektro-Mechanisches System

1. Introduction

In the last two decades, a trend towards automation and autonomous platforms has been observable across many sectors. In logistics, automated mobile robots are used in warehouses [1–3]. In the agricultural sector, mobile robots are used for smart farming [4–6]. In the automotive sector, advances have been made for Advanced Driver Assistance Systems [7] and for autonomous vehicles [8]. Moreover, mobile robots can support first responders in their daily work and in extreme emergency situations. Use cases range from fire extinction to the search and rescue of injured persons or the identification of chemical, biological, radiological, nuclear, and explosive (CBRNE) substances [9]. In order for the robot to complete these tasks autonomously, precise positioning and mapping are key technologies.

In Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), the robot constructs a map of its environment using onboard navigation sensors while simultaneously estimating its own position. Common navigation sensors that perceive the environment and are used in SLAM systems are LiDAR, monocular RGB cameras, stereo cameras [10], or RGB-Depth (RGB-D) cameras [11]. Observations from these sensors are typically fused with angular rates and accelerations measured by an Inertial Measurement Unit (IMU). Examples for LiDAR-inertial SLAM systems can be found in [12–15], monocular visual-inertial SLAM systems in [16, 17], stereo visual-inertial SLAM systems in [18, 19], and RGB-D-inertial SLAM systems in [20, 21].

Early SLAM systems rely on Bayesian filters such as the Extended Kalman filter (EKF) [22] or the Particle filter [23]. However, all Bayesian filters are limited by the complete state assumption or Markov assumption, which assumes that our robot's current state is conditionally independent from past observations [24]. A promising approach for SLAM which has received a lot of attention in the last years is Factor Graph Optimization (FGO) [25]. FGO allows modelling the joint density more generally, i.e., it is not limited by the Markov assumption and can take past observations into account when estimating the current state and the map. Why this is especially useful when working with exteroceptive navigation sensors that perceive the environment can be illustrated with the following example: Imagine a situation where a mobile robot performs SLAM as it drives into a building. It simultaneously estimates its own position along with the positions of specific features

of the map that it creates. When the robot is close to an area it has already mapped, it may observe the same features again. If it does so, it can use the previous observations as well as the current observations to these features to better estimate its own position and to update the map.

Indoor and subterranean environments are particularly challenging for navigation. A study which reviewed state-of-the-art SLAM algorithms for subterranean environments [26] found that all teams which participated in the DARPA Subterranean Challenge, an international robotics competition, rely on a LiDAR-focused SLAM based on FGO for positioning and mapping. LIO-SAM [27] is a widely used and openly available algorithm which fuses LiDAR point clouds and IMU data using FGO. Like other algorithms that fuse exteroceptive navigation sensors with IMUs, it has the drawback that when LiDAR fails, only the IMU data are used to compute the position of the robot. However, MEMS IMUs are not suitable for stand-alone positioning as errors quickly accumulate. Therefore, if the LiDAR data are not usable due to a sensor failure or environmental conditions such as smoke or fog, the positioning solution starts to drift.

In a recent paper [28] we proposed LIWO-SLAM, an extension of LIO-SAM, which fuses LiDAR, IMU and wheel odometry in a factor graph. We showed that with LIWO-SLAM, a better positioning accuracy can be achieved to when an EKF [29] is used with the same sensors. Moreover, adding wheel odometry helps to increase the redundancy of the positioning solution. However, a limitation of using wheel odometry is that it can only account for motion changes in a 2D plane. This is where this paper comes in: it proposes a combined IMU and wheel odometry factor which accounts for 3D motion and attitude changes.

The key innovation of this paper is the development of a 3D wheel-inertial-odometry model for ground-based robots. The model is integrated into a state-of-the-art LiDAR-focused SLAM based on factor graph optimization.

The main aims of the paper are to:

1. Develop the mathematical framework for a wheel-inertial-odometry model and integrate it into a LiDAR-focused SLAM;
2. Evaluate the model using two different datasets;
3. Analyse the advantages of the combined wheel-inertial odometry model.

The paper is structured as follows: First, the mathematical framework is described. The general formulation of the factor graph as well as the combined IMU and wheel odometry model are explained. Second, the software framework is described. Third, the developed algorithm is evaluated using two different datasets: a real-world dataset collected with a small mobile robot and a simulated dataset created in Gazebo. Both datasets contain a LiDAR outage where no point clouds are available. The performance of the proposed 3D wheel-inertial-odometry model during the outage is analysed in detail. Finally, we conclude the paper and give an outlook for further research.

2. Mathematical framework

The multi-sensor SLAM algorithm proposed in this paper is based on factor graph optimization. Factor graphs allow modelling complex estimation problems by expressing the joint density as a product of factors [25]. The factorization is shown in the form of a bipartite graph with two types of nodes, factor nodes and variable nodes. The variable nodes represent the states of the mobile robot, and the factor nodes represent the measurements. The edges of the factor graph connect the factor nodes to the variable nodes and represent independence relationships: a factor is only a function of the variables it is adjacent to.

The aim of factor graph optimization is to estimate the unknown robot states $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_i\}$ given our measurements \mathbf{Z} , i.e. to find the maximum a posteriori (MAP) estimate [25]

$$\begin{aligned} \mathbf{X}^{MAP} &= \arg\max_{\mathbf{X}} p(\mathbf{X} | \mathbf{Z}) = \\ &= \arg\max_{\mathbf{X}} \frac{p(\mathbf{Z} | \mathbf{X}) p(\mathbf{X})}{p(\mathbf{Z})}. \end{aligned} \quad (1)$$

Factor graph optimization uses all available sensor data to optimally estimate the state nodes. Since the functional relationships between the ob-

servations or factor nodes and the state nodes are non-linear, we use the Levenberg-Marquardt-Algorithm to solve the least-squares problem.

In our factor graph (Figure 1), a state node containing the robot's state \mathbf{x}_i at epoch i is written as

$$\mathbf{x}_i = [\mathbf{R}_i, \mathbf{p}_i^m, \mathbf{v}_i^m], \quad (2)$$

with $\mathbf{R}_i \in SO(3)$ being the rotation matrix from the body frame to the map frame, \mathbf{p}_i^m is the 3D position vector in the map frame, and \mathbf{v}_i^m is the 3D velocity vector in the map frame. A new state node is added to the factor graph whenever a new LiDAR keyframe is introduced, i.e., when the position and attitude of the robot change more than a certain threshold.

The homogeneous transformation matrix, which describes the transformation from the origin of the map frame to the current pose of the robot, can be written as

$$\mathbf{T}_i = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_i & \mathbf{p}_i^m \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

The LiDAR odometry factor (shown in orange in Figure 1) links two consecutive state nodes, i.e., it contains information on how the robot's state changed from one epoch to the next. Two consecutive state nodes \mathbf{x}_i and \mathbf{x}_{i+1} are linked via the transformation

$$\Delta \mathbf{T}_{i,i+1} = \mathbf{T}_i^{-1} \mathbf{T}_{i+1}. \quad (4)$$

A loop closure factor (shown in green in Figure 1) is used when a feature is detected in a LiDAR scan which has already previously been mapped. In this case, the factor connects the two state nodes from which the same feature was observed.

The LiDAR odometry and loop closure factors are based on LIO-SAM [27]. For each new LiDAR scan, edge and planar features are extracted. When a new state node is added to the graph, the algorithm looks for other state nodes that are close to this state node and tries to match the keyframes using scan matching. If the matching is successful, the obtained relative transformation is added to the factor graph as a loop closure factor.

Computing the robot's state in between the keyframes or state nodes is referred to as *preintegration*. The preintegrated navigation solution is used as an initial guess for LiDAR scan matching. When no LiDAR data are available, the navigation solution is computed only from the preintegration.

Conventional algorithms use only IMU data in the preintegration. We propose a novel and more

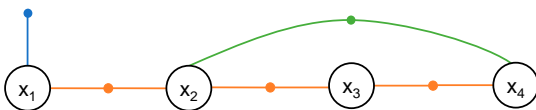


Fig. 1: Proposed factor graph for SLAM. The prior factor is shown in blue. The LiDAR factor (orange) connects consecutive state nodes. The loop closure factor is shown in green. Between two consecutive state nodes, the preintegration with the 3D wheel-inertial odometry model is used to compute the robot's state and provides an initial guess for LiDAR scan matching.

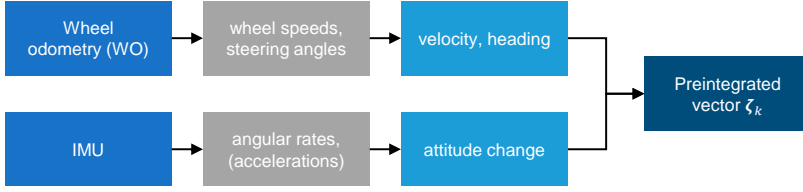


Fig. 2: Overview of the combined wheel odometry and IMU preintegration

robust approach which combines both wheel odometry and IMU data. In the following, this novel method will be explained.

2.1 Preintegration with a combined wheel odometry and IMU model

The task of the preintegration is to predict the navigation state from one state node of the factor graph ($\mathbf{x}_i = [\mathbf{R}_i, \mathbf{p}_i^m, \mathbf{v}_i^m]$) to the next state node (\mathbf{x}_{i+1}). To do so, observations from a sensor with a high data rate are used. IMU preintegration as proposed by [30] has become a standard and most systems use a low-cost MEMS IMU. However, when the main visual sensor fails, the preintegration with the MEMS IMU cannot be used as a standalone solution as errors quickly accumulate.

A method which is more robust and more suitable to bridge outages is wheel odometry [31]. Wheel odometry uses measured wheel speeds and steering angles of the wheels to compute how the robot's pose changed. However, wheel odometry only yields 2D information. Therefore, we propose a method that combines both observations from the IMU and from wheel odometry. An overview of this process is given in Figure 2. Wheel odometry is used to compute the 2D velocity and heading. The angular rates measured by the IMU are used to compute an attitude change. Both are combined to obtain the preintegrated navigation state.

2.1.1 Preintegrated navigation state in the tangent space

To predict the navigation state from one state node ($\mathbf{x}_i = [\mathbf{R}_i, \mathbf{p}_i^m, \mathbf{v}_i^m]$) to the next (\mathbf{x}_{i+1}), the IMU and wheel odometry observations are accumulated and integrated between the keyframes. In the following, the indices i will refer to the state nodes $\mathbf{x}_i = [\mathbf{R}_i, \mathbf{p}_i^m, \mathbf{v}_i^m]$ and the indices k refer to the preintegrated vector $\zeta_k = [\theta_k, \mathbf{p}_k, \mathbf{v}_k]$ in the tangent space.

Since the navigation state \mathbf{x}_i contains a rotation matrix \mathbf{R}_i and rotation matrices are manifolds, we

lift the integration to the local tangent space and then perform a retraction back to the manifold.

The tangent space of a rotation matrix $\mathbf{R} \in SO(3)$ is its Lie algebra $\mathfrak{so}(3)$, the space of 3×3 skew-symmetric matrices. The logarithm map $\log(\mathbf{R})$ allows to compute the skew-symmetric matrix \mathbf{S} . Every skew-symmetric matrix \mathbf{S} can be associated to a vector θ via the hat-operator \wedge [30]

$$\theta^\wedge = \begin{bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix}^\wedge = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 0 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 0 \end{bmatrix} = \mathbf{S} \in \mathfrak{so}(3). \quad (5)$$

The vector θ points in the direction of the 3D rotation axis and its norm corresponds to the rotation angle. This 3D vector is used to describe attitude changes in the tangent space.

The 9D vector which describes the preintegrated navigation state in the tangent space is as follows:

$$\zeta_k = [\theta_k, \mathbf{p}_k, \mathbf{v}_k]^\top = [\theta_{x,k}, \theta_{y,k}, \theta_{z,k}, p_{x,k}, p_{y,k}, p_{z,k}, v_{x,k}, v_{y,k}, v_{z,k}]^\top, \quad (6)$$

with \mathbf{p}_k being the position and \mathbf{v}_k the velocity at epoch k .

2.1.2 Wheel-inertial odometry model

To compute the preintegration, we use the gyroscope measurements of the IMU $\omega_{x,k}, \omega_{y,k}$ at epoch k , as well as the observations from wheel odometry. Which wheel odometry model to choose always depends on how the robot is steered. In our previous work [28], we proposed a four wheel independent steering and four wheel independent driving (4WIS4WID) wheel odometry model, which assumes that each wheel of the robot can be steered individually. The 4WIS4WID model uses measured wheel speeds $v_{fl}, v_{fr}, v_{rl}, v_{rr}$ and steering angles $\delta_{fl}, \delta_{fr}, \delta_{rl}, \delta_{rr}$ to compute how the position and attitude of the robot change.

For skid-steered robots, which will later be used to evaluate the algorithm in Chapter 4, all steering angles are zero. Furthermore, all wheels on one side of the robot are steered with the same velocity, i.e., all left wheels share the same wheel

speed v_l and all right wheels share the same wheel speed v_r . The wheel odometry equations therefore simplify to the following: The rotation rate $\dot{\theta}_{z,k}$ about the robot's z-axis at epoch k is obtained from

$$\dot{\theta}_{z,k} = \frac{v_{l,k} - v_{r,k}}{2b}, \quad (7)$$

where $v_{l,k}$ is the measured speed of the left wheels, $v_{r,k}$ is the measured speed of the right wheels and $2b$ is trackwidth. The velocity in the body frame of the robot can be computed from

$$v_{x,k}^b = \frac{v_{l,k} + v_{r,k}}{2}, \quad (8)$$

$$v_{y,k}^b = 0. \quad (9)$$

In the first step of the combined wheel odometry and IMU preintegration, the vector θ_k is computed. For the x- and y-components, the method proposed by [30] is used: the gyroscope measurements $\omega_{x,k}$, $\omega_{y,k}$, which are corrected for their respective biases b_x , b_y , are integrated numerically from epoch $k-1$ to epoch k

$$\theta_{x,k} = \theta_{x,k-1} + (\omega_{x,k} - b_x) \cdot \Delta t_{k-1,k}, \quad (10)$$

$$\theta_{y,k} = \theta_{y,k-1} + (\omega_{y,k} - b_y) \cdot \Delta t_{k-1,k}. \quad (11)$$

For the z-component, the rotation rate obtained from wheel odometry (Equation 7) is integrated numerically

$$\theta_{z,k} = \theta_{z,k-1} + \dot{\theta}_{z,k} \cdot \Delta t_{k-1,k}. \quad (12)$$

In the next step, the retraction (exponential map) of θ_k is computed to obtain the rotation matrix \mathbf{R}_k .

Next, Equation 8 from the wheel odometry model is used to compute the robots forward speed $v_{x,k}^b$ in the body frame. To obtain the 3D velocity

vector \mathbf{v}_k , the velocity obtained from wheel odometry is rotated to the navigation frame with

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{R}_k \begin{pmatrix} v_{x,k}^b \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Finally, the velocity vector \mathbf{v}_k is integrated numerically to obtain the position vector \mathbf{p}_k

$$\mathbf{p}_k = \mathbf{p}_{k-1} + \mathbf{v}_k \cdot \Delta t_{k-1,k}. \quad (14)$$

3. Software Development

The software was developed in C++ using the Robot Operating System (ROS) framework. It builds on the previous work LIWO-SLAM [28] and on LIO-SAM [27] and uses the GTSAM library [32] for smoothing and mapping.

An overview of the program flow is given in Figure 3. Four ROS nodes are used that perform different tasks. The *3D Wheel Odometry Preintegration-Node* fuses data from the IMU and the wheel encoders to calculate the preintegration (preintegration_incremental), a three-dimensional wheel odometry increment between two LiDAR odometry poses. This increment is used in the *Cloud Deskewing*-node to deskew the point cloud of the LiDAR. Both the preintegration and the deskewed point cloud are passed on to the *Map Optimization*-node, where the actual factor graph is optimized. The *Mapping Odometry Fusion*-node combines the output of the *Map Optimization* with the preintegration to output a navigation solution with the same data rate as the preintegration.

4. Evaluation

To evaluate the developed algorithm, two different datasets were collected: a real dataset with a small mobile robot (scenario 1) and a simulated

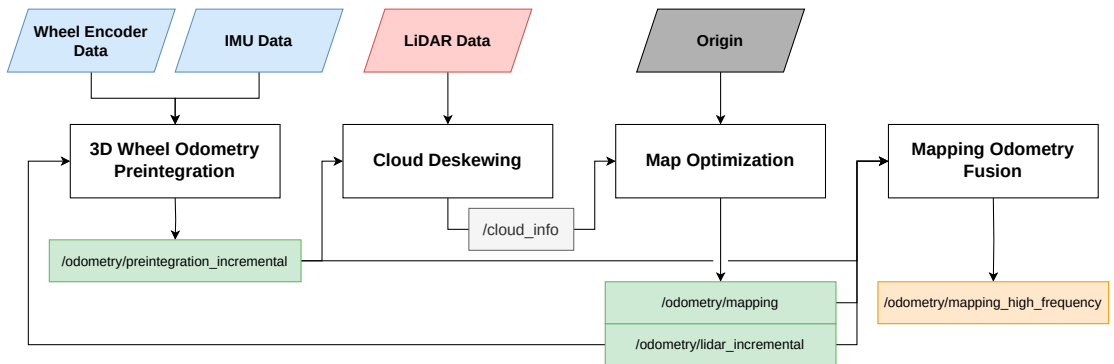


Fig. 3: Flow-graph of the proposed SLAM algorithm

dataset obtained in Gazebo (scenario 2). In the following, the collection of the datasets is explained, and the results obtained by processing these datasets with the newly developed algorithm are presented.

4.1 Scenario 1: Mapping the campus of TU Graz

In the first scenario, a small mobile robot was used to map an outdoor environment. During this scenario, connection issues between the LiDAR and the main PC of the robot occurred and no LiDAR data were available for approximately 30 seconds. In the following, first the collection of the dataset will be described. Then, the dataset will be evaluated with both a conventional LiDAR-inertial factor graph and the newly proposed method with the wheel-inertial preintegration. A special focus is put on the performance of both algorithms during the LiDAR outage.

4.1.1 Collecting the dataset

Data was collected around the campus “Neue Technik” of Graz University of Technology on the 20th of October 2023. The robot used in this scenario is a Jackal by Clearpath RoboticsTM (see Figure 4).

The robot was equipped with an IMU, a LiDAR, and wheel encoders. An overview of the specific navigation sensors used is given in Table 1. Data from the navigation sensors was recorded with ROS and stored in .bag files. ROS bag files have the advantage that they can be replayed at a later stage to simulate a real-time scenario. By replaying the same bag file several times, different algorithms can be tested with the same navigation data.

The collected trajectory in the first scenario has a duration of 12 minutes and the distance travelled was 820 meters. The robot started and stopped at the same location (see Figure 5).

During data recording, the connection between the LiDAR and the main PC of the robot was interrupted for approximately 30 seconds. This outage of the LiDAR data will be analysed in more detail in the evaluation.

Type	Description
<i>IMU</i>	XSens MTi-G-710
<i>LiDAR</i>	Velodyne ULTRA Puck VLP-32C
<i>Wheel Encoders</i>	78,000 pulses/m QUADRATURE

Tab. 1: Navigation sensors used in the first scenario

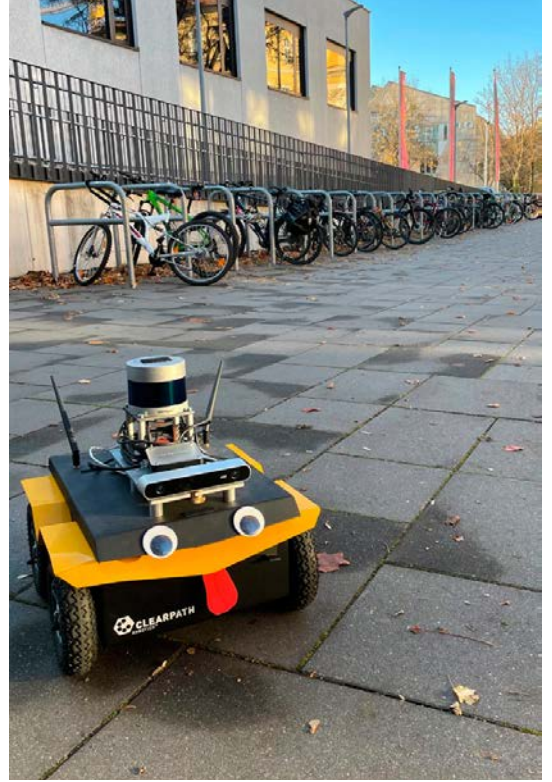


Fig. 4: Jackal robot used in the first scenario. The picture was taken at the location of the LiDAR outage.



Fig. 5: The drain cover (indicated in red) was the start and stop point of the trajectory of scenario 1

4.1.2 Evaluation of the first scenario

To evaluate the developed algorithm with the dataset collected in the first scenario, the ROS bag file was replayed and processed with two different algorithms: a conventional LiDAR-inertial factor graph (IMU preintegration), and the newly proposed factor graph which fuses LiDAR, wheel odometry and inertial data (WO/IMU-preintegration).

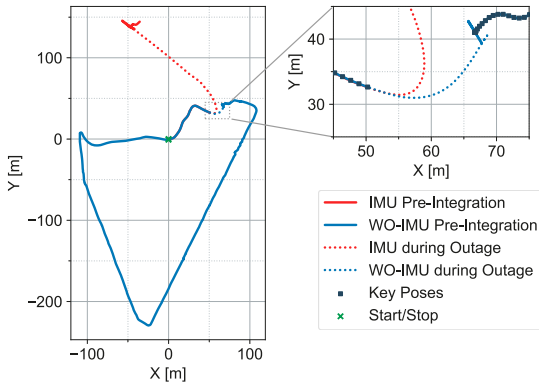


Fig. 6: 2D plot of the trajectory of the first scenario. Left: overview of the whole trajectory. Right: zoomed-in section where the LiDAR outage occurred.

Figure 6 shows the 2D horizontal plot of the trajectory which was recorded in the first scenario. The start and end points of the trajectory are marked as green crosses. The trajectory obtained from the factor graph with IMU preintegration is shown in red, the factor graph with the combined wheel odometry and IMU preintegration is shown in blue. During the LiDAR outage that occurred,

both trajectories are depicted as dotted lines. The zoomed-in plot also shows the keyframes of the SLAM solution. These keyframes are computed every time the factor graph is optimized.

During the outage of the LiDAR data, which lasted around 30 seconds and during which the robot drove approximately 20 meters, no keyframes were computed as these are derived from the laser scans. During the LiDAR outage, the IMU errors accumulate quickly, and the trajectory obtained from IMU preintegration starts to drift. After 30 seconds without LiDAR data, the position computed only from IMU data is so far off that the LiDAR scan after the outage cannot be registered to the map anymore.

With the combined wheel odometry and IMU preintegration model, however, the outage can be bridged. The position error after 30 seconds without LiDAR data is small enough that the scan after the outage can be registered to the map.

Figure 7 shows how the LiDAR outage is bridged in more detail. These four screenshots of the scan matching algorithm show the global

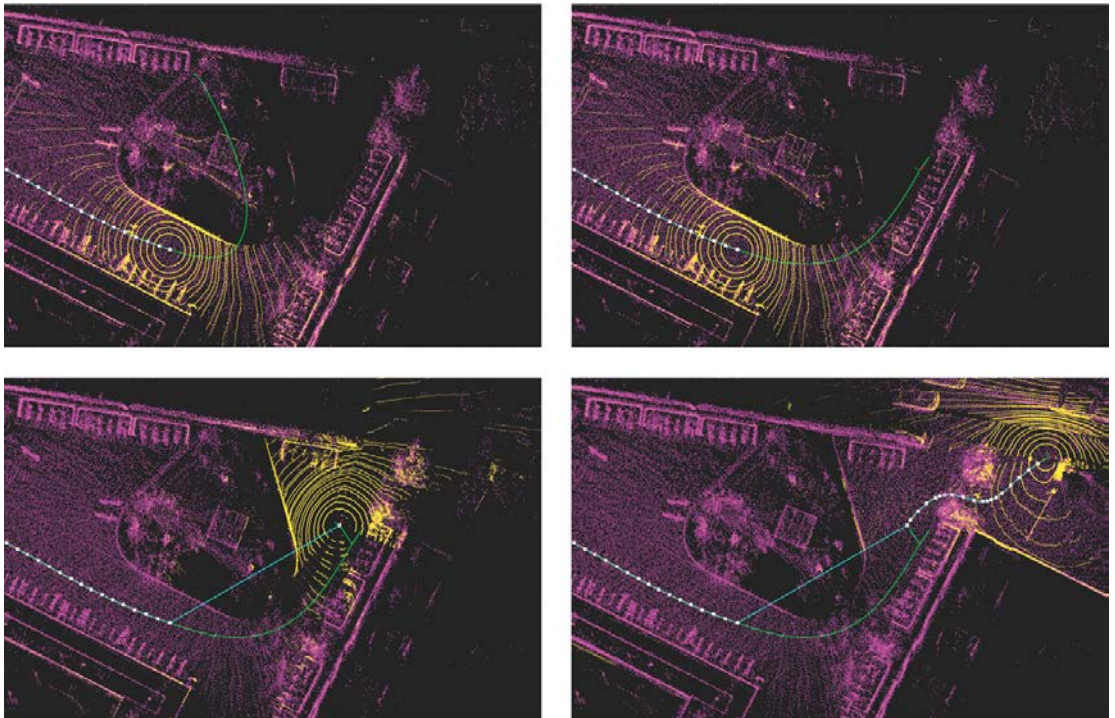


Fig. 7: Comparison of scan matching output at the LiDAR outage. Top left: IMU Pre-Integration failing to bridge the LiDAR outage. Top right: WO-IMU Pre-Integration bridges the LiDAR outage. Lower left: The scan matching is successful after bridging the outage with WO-IMU Pre-Integration. Lower right: Robot moving on after recovery of scan matching.

matched point cloud in purple and the current scan in yellow. The global path after factor graph optimization is shown in turquoise and the key poses are shown as white squares. The top left image shows the result of the preintegration (green) with the IMU, which drifts during the outage. The top right image depicts how the combined wheel odometry and IMU preintegration model bridges the outage. The lower left image shows how the first scan after the LiDAR outage is registered to the map and the lower right image shows how the SLAM algorithm continues after the outage.

The difference between the start and end point of the whole trajectory was 89 cm (when no loop closure is used at the end of the trajectory). With a trajectory length of 820 metres, this corresponds to an error of 0.1% of the distance travelled.

4.2 Scenario 2: Mapping a parking garage in a simulation environment

The purpose of the second scenario was to emphasize the importance of the combined wheel odometry and IMU model. Therefore, a scenario was simulated where a robot drives up a ramp in a parking garage and a LiDAR outage occurs. In the following, the simulation and the evaluation of this scenario will be described.

4.2.1 Simulating the dataset in Gazebo

The second scenario, shown in Figure 8, is based on a simulation of a parking garage with multiple levels in Gazebo. Gazebo is the simulation environment for the Robot Operation System (ROS). The sensors used in this study are simulated in Gazebo and are of the same type as in the previous scenario shown in Table 1. The noise characteristics of each sensor type were con-



Fig. 8: RTE robot by Rosenbauer in the simulation environment created with Gazebo

dered in the simulation to be as close to the real world as possible.

A trajectory was recorded where the robot traversed between two levels of a parking garage to also show the change in the Z component of the location of the robot. Before the robot reached the ramp, an artificial outage of the LiDAR data was simulated.

4.2.2 Evaluation of the second scenario

The recorded data was processed with three different preintegration models: IMU preintegration, a 2D wheel odometry preintegration (WO), and the combined wheel odometry and IMU preintegration (WO-IMU).

Figure 9 shows the 2D plot of the second scenario. Since a simulation environment was used, the ground truth is known and shown in blue. Up to the simulated LiDAR outage, marked with the black triangle, all solutions yield comparable results. This is due to the fact that LIWO-SLAM

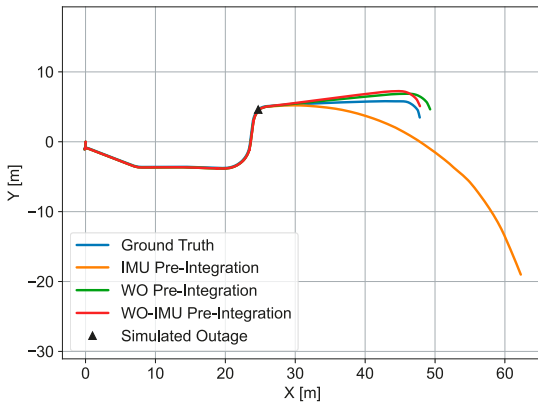


Fig. 9: 2D plot of scenario 2. The black triangle indicates the start of the LiDAR outage.

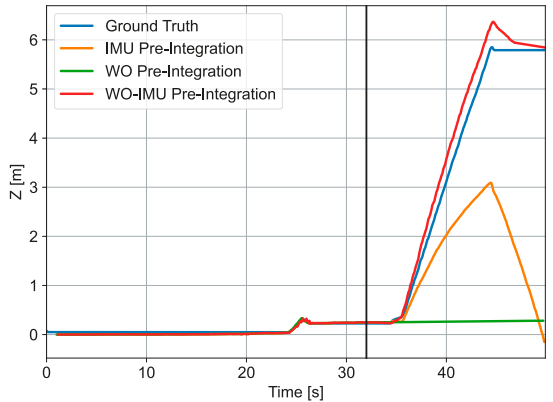


Fig. 10: Height time series of scenario 2. The start of the LiDAR outage is indicated by a black line.

strongly relies on the precision and accuracy of the LiDAR when it is available.

As in the previous scenario, the IMU-only preintegration (orange trajectory) starts to drift away shortly after the outage. The WO-only solution (green trajectory) shows comparable results to the combined WO-IMU solution (red trajectory) in the 2D case, as the distance travelled can be determined quite accurately with wheel odometry. Since the WO-only solution has no information about changes in the height component, the trajectory shows a longer horizontal distance travelled than the WO-IMU model, which takes height changes into account.

Figure 10 shows the height coordinate time series of the trajectories computed with the three different preintegration models compared to the ground truth (blue). The start of the LiDAR outage is indicated by a black vertical line. The wheel odometry preintegration (green) has no information about the changing height, as it always assumes planar movement. The IMU-only preintegration (orange) can bridge the outage for around 2 seconds, then the accumulation of the errors starts to increase, and the solution begins to drift away from the ground truth. Our proposed solution, the combined WO-IMU preintegration, can bridge the outage over the whole distance travelled up the ramp to the second floor.

5. Conclusion and outlook

This paper proposed a novel approach for fusing LiDAR, IMU and wheel odometry data in a factor graph for SLAM. In contrast to conventional algorithms which use only IMU data in the preintegration, a combined wheel odometry and IMU model was proposed. In the following, the main findings of this work are summarized.

The first aim was to develop the mathematical framework for a wheel-inertial-odometry model and integrate it into a LiDAR-focused factor graph for SLAM. The combined wheel odometry and IMU model uses measured wheel speeds from wheel odometry and angular rates measured by the IMU to compute how the robot's pose changes. In a LiDAR-focused factor graph, state nodes are added to the graph whenever a new LiDAR keyframe is introduced. Between the keyframes, the navigation solution is computed using a preintegration method, in our case with the combined wheel odometry and IMU model.

The second aim was to evaluate the model using two different datasets. Therefore, two different datasets were generated. The first scenario was a 820 m long trajectory collected with a small robot and the second scenario was obtained from a simulation in Gazebo, where a tracked robot was simulated. Both datasets contain a LiDAR outage. In both scenarios, the conventional IMU-based preintegration fails during the LiDAR outage as errors accumulate fast. With the proposed preintegration method that combines both wheel odometry and IMU, the LiDAR outage can be bridged. In the first scenario, the proposed preintegration method bridges a 30 second LiDAR outage with sufficient accuracy that the first scan after the outage can be registered to the map successfully.

The third aim of the paper was to analyse the advantages of the combined wheel-inertial odometry model compared to using only inertial or only wheel odometry data. To demonstrate the advantages of the combined model, a LiDAR outage was simulated in the second scenario where the robot moved up a ramp in the parking garage. As in the first scenario, the IMU-only preintegration method shows a large position error after a few seconds. The preintegration method that uses only wheel odometry shows a lower horizontal positioning error, however, it cannot account for the height change. The combined model combines the advantages of both sensors: it provides an accurate 3D position estimate during the LiDAR outage.

The developed algorithm will be used in the research project SURUx2, where a semi-autonomous robot supports military specialists in decontamination. In the future, the algorithm will be extended by adding more sensors that can perceive the environment to the factor graph. This allows to not only increase localization robustness but to also allow for continuous mapping when one sensor fails.

Acknowledgements

This research was conducted within the project SURUx2 (895151), which is funded by the Austrian defense research programme FORTE of the Federal Ministry of Finance (BMF). The authors would like to thank the project partners of the SURUx2 project at the AIT Austrian Institute of Technology GmbH - Center for Digital Safety and Security, Rosenbauer International AG, CBRN Protection GmbH and the Austrian Ministry of Defence.

References

- [1] H. Lee and J. Jeong, "Mobile Robot Path Optimization Technique Based on Reinforcement Learning Algorithm in Warehouse Environment," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 3, p. 1209, 2021.

- [2] R. Bernardo, J. M. Sousa and P. J. Gonçalves, "Survey on robotic systems for internal logistics," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 65, pp. 339–350, 2022.
- [3] A. Yildirim, H. Reefke and E. Aktaş, *Mobile Robot Automation in Warehouses: A Framework for Decision Making and Integration*, 1st ed., Cham, Springer International Publishing; Imprint: Palgrave Macmillan, 2023.
- [4] E. Reitbauer, *Multi-Sensor Positioning for the Automatic Steering of Tracked Agricultural Vehicles*, Verlag der Technischen Universität Graz, 2022.
- [5] E. Reitbauer, C. Schmied and M. Wieser, "Autonomous Navigation Module for Tracked Compost Turners," in *2020 European Navigation Conference (ENC)*, Dresden, Germany, 2020, pp. 1–10.
- [6] S. Saha et al., "A Vision-based Navigation System for an Agricultural Autonomous Tractor," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 32, pp. 48–53, 2022.
- [7] A. Ziebinski et al., "A Survey of ADAS Technologies for the Future Perspective of Sensor Fusion," in *Computational Collective Intelligence*, vol. 9876, N. T. Nguyen et al., Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 135–146.
- [8] I. Yaqoob et al., "Autonomous Driving Cars in Smart Cities: Recent Advances, Requirements, and Challenges," *IEEE Network*, vol. 34, no. 1, pp. 174–181, 2020.
- [9] F. E. Schneider and D. Wildermuth, "Using robots for fire-fighters and first responders: Scenario specification and exemplary system description," in *2017 18th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Sinaia, Romania, 2017, pp. 216–221.
- [10] M. Filipenko and I. Afanasyev, "Comparison of Various SLAM Systems for Mobile Robot in an Indoor Environment," in *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, Funchal - Madeira, Portugal, 2018, pp. 400–407.
- [11] Y. Li and C. Shi, "Localization and Navigation for Indoor Mobile Robot Based on ROS," in *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, Xi'an, China, 2018, pp. 1135–1139.
- [12] P. Geneva et al., "LIPS: LiDAR-Inertial 3D Plane SLAM," in *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Madrid, 2018, pp. 123–130.
- [13] H. Li et al., "An Intensity-Augmented LiDAR-Inertial SLAM for Solid-State LiDARs in Degenerated Environments," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, pp. 1–10, 2022.
- [14] L. Yang et al., "A Tightly Coupled LiDAR-Inertial SLAM for Perceptually Degraded Scenes," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, no. 8, 2022.
- [15] K. Liu and H. Ou, "A Light-Weight LiDAR-Inertial SLAM System with High Efficiency and Loop Closure Detection Capacity," in *2022 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, Guilin, China, 2022, pp. 284–289.
- [16] A. Concha et al., "Visual-inertial direct SLAM," in *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Stockholm, Sweden, 2016, pp. 1331–1338.
- [17] R. Mur-Artal and J. D. Tardos, "Visual-Inertial Monocular SLAM With Map Reuse," *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 796–803, 2017.
- [18] H. Yin et al., "Dynam-SLAM: An Accurate, Robust Stereo Visual-Inertial SLAM Method in Dynamic Environments," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 39, no. 1, pp. 289–308, 2023.
- [19] V. Usenko et al., "Direct visual-inertial odometry with stereo cameras," in *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Stockholm, Sweden, 2016, pp. 1885–1892.
- [20] X. Deng et al., "Robust 3D-SLAM With Tight RGB-D-Inertial Fusion," in *2019 Chinese Control Conference (CCC)*, Guangzhou, China, 2019, pp. 4389–4396.
- [21] U. Qayyum, Q. Ahsan and Z. Mahmood, "IMU aided RGB-D SLAM," in *2017 14th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan, 2017, pp. 337–341.
- [22] J. Weingarten and R. Siegwart, "EKF-based 3D SLAM for structured environment reconstruction," in *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Edmonton, Alta., Canada, 2005, pp. 3834–3839.
- [23] G. Grisetti, C. Stachniss and W. Burgard, "Improving Grid-based SLAM with Rao-Blackwellized Particle Filters by Adaptive Proposals and Selective Resampling," in *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, 2005, pp. 2432–2437.
- [24] S. Thrun, W. Burgard and D. Fox, *Probabilistic Robotics*, The MIT Press, 2005.
- [25] F. Dellaert and M. Kaess, "Factor Graphs for Robot Perception," *FNT in Robotics*, vol. 6, 1–2, pp. 1–139, 2017.
- [26] K. Ebadi et al., "Present and Future of SLAM in Extreme Underground Environments," Aug. 2022, Available: <http://arxiv.org/pdf/2208.01787v1>.
- [27] T. Shan et al., "LIO-SAM: Tightly-coupled Lidar Inertial Odometry via Smoothing and Mapping," in *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Las Vegas, NV, USA, 10242020, pp. 5135–5142.
- [28] E. Reitbauer et al., "LIWO-SLAM: A LiDAR, IMU, and Wheel Odometry Simultaneous Localization and Mapping System for GNSS-Denied Environments Based on Factor Graph Optimization," in *Proceedings of the 36th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2023)*, Denver, Colorado, 2023, pp. 1669–1683.
- [29] E. Reitbauer, C. Schmied and H. Didari, "Subterranean positioning for a semi-autonomous robot supporting emergency task forces," in *2022 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, Tampere, Finland, 672022, pp. 1–7.
- [30] C. Forster et al., "On-Manifold Preintegration for Real-Time Visual-Inertial Odometry," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–21, 2017.
- [31] E. Reitbauer and C. Schmied, "Bridging GNSS Outages with IMU and Odometry: A Case Study for Agricultural Vehicles," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, no. 13, 2021.
- [32] Frank Dellaert and GTSAM Contributors, *borglab/gt sam*, Georgia Tech Borg Lab, Available: <https://github.com/borglab/gtsam>.

Contacts

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Eva Reitbauer, BSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/II, 8010 Graz.
E-Mail: eva.reitbauer@tugraz.at

Dipl.-Ing. Christoph Schmied, BSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/II, 8010 Graz.
E-Mail: schmied@tugraz.at

Dipl.-Ing. Fabian Theurl, BSc, Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/II, 8010 Graz.
E-Mail: fabian.theurl@tugraz.at



Die Grenze Kärntens zu Slowenien – Grenzlinienfindung nach dem Vertrag von St. Germain

Carinthia's border with Slovenia – Border demarcation after the Treaty of St. Germain

Dietrich Kollenprat, Klagenfurt am Wörthersee

Kurzfassung

Das Herzogtum Kärnten war vor 1918 territorial größer als heute. Nach dem Ende des Ersten Weltkrieges mussten Landesteile abgetreten werden. Die Festlegung der Kärntner Grenze zum südlich angrenzenden Nachbarstaat, dem SHS-Königreich (ab 1929: Jugoslawien), auf der Grundlage des Vertrags von St. Germain-en-Laye (= VSG) (1919) wird aus geodätischer Sicht im Folgenden beschrieben. Dabei soll auch auf die historische Entwicklung eingegangen werden, die mit der Volksabstimmung im Jahr 1920 und der Klärung über den Grenzverlauf im südöstlichen Kärnten (Zone A) endete. Ebenso werden die damals zur Verfügung gestandene Vermessungs- und Auswerte-Einrichtungen dargestellt.

Schlüsselwörter: Staatsvertrag, Staatsgrenze, feste und bewegliche Grenze

Abstract

The Duchy of Carinthia was larger before 1918. After the end of World War 1, various parts of the country had to be ceded. The determination of the Carinthian border to the neighbor state to the south on the basis of the Treaty of St. Germain-en-Laye (VSG) is described below from a geodetic point of view. The historical development that ended with the referendum in 1920 and the clarification of the course of the border in the Klagenfurt section should also be discussed. The measuring and evaluation equipment that was available at the time is also presented.

Key words: state contract, state border, fixed and movable border

1. Einleitung

Die Grenze Kärntens zu Slowenien (vormals zum SHS-Staat¹ bzw. Jugoslawien gehörig) hat nach dem Beitritt sowohl Österreichs als auch Sloweniens zur EU geringere emotionale Bedeutung als noch nach dem Ersten Weltkrieg und in den darauffolgenden Jahrzehnten des „kurzen“ 20. Jahrhunderts. Die Grundlage der Staatsgrenze [1] wurde im Vertrag von St. Germain-en-Laye [2] und mit dem darauffolgenden Plebiszit des Jahres 1920 nach der Abstimmung in der Zone A [3] festgelegt (siehe Abbildung 2) sowie für den Abschnitt „Mallestiger bis Hühnerkogel“ nach dem österreichischen Entwurf bestätigt. Auf Grund des geltenden Staatsvertrags (1955) gibt es heute keine Auslegungsdifferenzen und Territorialunsicherheiten.

Trotzdem ist es von Interesse, auf welche Grundlagen anlässlich der Grenzfestlegung 1919/1920 ff zurückgegriffen wurde und ob zu Slowenien durchgehend feste oder auch variable Grenzen vorzufinden sind.

2. Kurzer historischer Rückblick

Kärnten wurde 976 erstmals als Herzogtum urkundlich erwähnt. 1282 wurde es unter König Rudolf I. von Habsburg habsburgisch. Der Habsburger gab das Herzogtum dem mit ihm verbündeten Grafen von Tirol als Lehen weiter. 1335 erfolgte durch Kaiser Ludwig IV. („dem Bayer“) die Belehnung der Habsburger (Otto der Fröhliche) mit Kärnten. Die Grenzen Kärntens änderten sich in den folgenden Jahrhunderten durch Erbteilungen und durch Zukauf; insgesamt erfolgte eine Gebietsverkleinerung. In der Regierungszeit Josephs II. wurde Kärnten 1782 der Verwaltung in Graz unterstellt.

Im Frieden von Schönbrunn (1809) wurde das Herzogtum geteilt, wobei der im Westen gelegene Villacher Kreis an die zu Frankreich eingegliederten Illyrischen Provinzen fiel und der östliche Klagenfurter Kreis im österreichischen Kaiserstaat verblieb, mit der Verwaltung in Graz. Die Illyrischen Provinzen, und somit auch der Villacher Kreis, wurden von Laibach (Ljubljana) aus verwaltet. Nach dem Wiener Kongress (1814/15) fiel der Villacher Kreis wieder an den österreichischen Kaiserstaat. 1825 kam auch der Klagenfurter

1) Die Gründung des Königreichs der Serben, Kroaten und Slowenen erfolgte am 1.12.1918.



Abb. 1: Peter Kozlar, Großslowenien, 1851

Kreis, der vorerst noch Graz unterstellt war, zu Kärnten, das nun als Kronland wiederhergestellt war. Kärnten war nun ein Teil des Guberniums Laibach, bestehend aus Kärnten und Krain. Die Verwaltung erfolgte bis 1849 von Laibach aus.

Durch das Entstehen des Nationalismus, sowohl eines slowenischen wie auch eines deutschsprachigen, entstand in Kärnten die Angst vor einer Teilung des Landes oder vor Gebietsabtretungen, die u. a. durch die Karte eines Großsloweniens von Peter Kozlar (Abbildung 1) befeuert wurde.

Im Zuge der Neustrukturierung des österreichischen Kaiserstaates nach der Revolution 1848/49 erhielt Kärnten 1849 wieder den Status eines eigenständigen Kronlands mit dem Verwaltungssitz in Klagenfurt. Die Landesgrenzen blieben so dann bis 1918 unverändert.

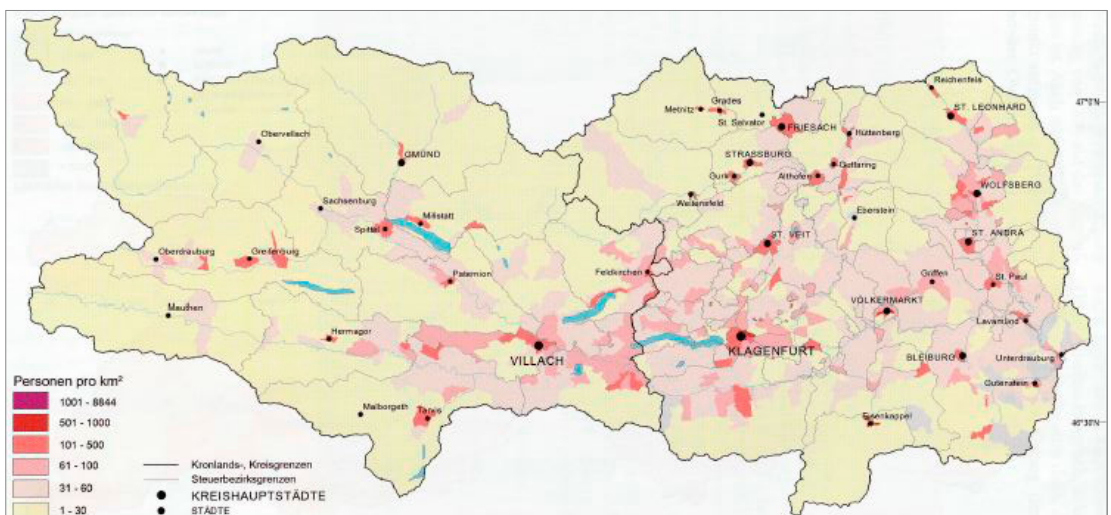


Abb. 2: Kärnten in den Grenzen vor 1918 [4][5]

3. Grenzfestlegung nach dem Vertrag von St. Germain-en-Laye

3.1 Allgemeines

Im Artikel 27 Abs. 3 des Vertrags von St. Germain wurden die Grenzen beschrieben, mussten aber im Detail in örtlichen Begehungen und Verhandlungen festgelegt und in Karten dokumentiert werden [6]. Dazu wurde eine Geographische Kommission (= GK) gebildet, die im Auftrag der Botschafterkonferenz Vorschläge für die Beschreibung der neuen Staatsgrenze erstellte [7]. Die GK nahm am 5. April 1919 ihre Arbeiten auf und war mit Ausnahme des „Klagenfurter Bereichs“ bis Oktober 1919 tätig. Die Aufgaben der GK waren:

- Koordinierung der geographischen Arbeiten, die die Grenzen betreffen,
- Auswahl der dafür besten Karten (man zog hierzu die österreichischen heran),
- Vorbereitung der Instruktionen² für die Tätigkeiten der Grenzregulierungsausschüsse (= GRA), die vom Generalsekretariat der Konferenz zu genehmigen waren,
- Festlegung der Grenzlinien für die GRA,
- Beschreibung der neu festzulegenden Grenzen, sowie
- Einigung auf eine Kartenbeilage zum VSG, die in dessen Art. 28 erwähnt wird.³

Im Art. 29 VSG wird die Tätigkeit des Grenzregulierungsausschusses, dessen Zusammensetzung und dessen Machtbefugnis bestimmt, wonach es diesem obliegt, die im Gelände noch festzulegende Grenzlinie unter tunlichster Berücksichtigung wirtschaftlicher Interessen zu ziehen. Die Ausschüsse entscheiden mit Stimmenmehrheit. Ihre Entscheidungen sind für die Beteiligten bindend.

Die Staatsgrenze im Abschnitt Kärntens wird im Art. 27 Abs. 3 (in Abs. 4 ist der Abschnitt der Steiermark enthalten) sowie im Art. 49 des VSG beschrieben, wobei das Ergebnis der Kärntner Abstimmung in der Zone A⁴ (10. Oktober 1920) zu berücksichtigen war [8]. Art. 27 Abs. 3 setzt, nicht eindeutig einem Nachbarland zugeordnet,

- 2) In der Instruktion wurden festgelegt: I. Bestimmung und Auspflockung der Staatsgrenze, II. Versteinung der Staatsgrenze, III. Vermessung und Beschreibung der Staatsgrenze (Triangulierung, Detailvermessung, Topographische Aufnahme, Beschreibung der Grenzpunkte).
- 3) Im Falle von Abweichungen zwischen Text und Karte ist die textliche Beschreibung maßgebend (Art. 28).
- 4) Die Begrenzung der Abstimmungszonen A und B (oft auch mit I und II bezeichnet) ist im Art. 50 VSG beschrieben.

nach Art. 27 Abs. 2 etwas unklar fort: „Im Süden sodann mit dem Gebiete von Klagenfurt, unter Vorbehalt der Bestimmungen des II. Abschnitts des III. Teiles (Politische Bestimmungen über Europa): Vom Petsch (Peč) [d.i. das Dreiländereck, Ofen, Peč, Monte Forno] ostwärts bis zur Kote⁵ 1817 Mallestiger [= Mallestiger Mittagkogel (Maloško poldne)], die Kammlinie der Karawanken⁶“. Auf diese rund 13 km lange Grenzstrecke folgt die neue Staatsgrenze der Kammlinie der Karawanken bzw. der bisherigen Grenze Kärntens im Norden und Krains im Süden entlang der Kammlinie (Wasserscheide)⁷ bis Uschowa (Olseva), Nähe Felsentore⁸ (Beginn der Sektion XXII). Beim Berg Mallestiger zweigt gegen Norden die in diesem Artikel beschriebene Abstimmungsgrenze für das Gebiet Klagenfurt ab (Zone A) und endet beim Hühnerkogel (Visoki kurjek) (Kote 1522, nordöstlich von Lavamünd (Labot)), der im Art. 27 Abs. 4 als Anknüpfungspunkt für die Festlegung der Grenze mit dem SHS-Staat bestimmt ist.

Die anfangs vorgesehene Grenzziehung lt. Abs. 3 VSG, die dann erst durch die Kärntner Volksabstimmung endgültig bestimmt wurde, sah gemäß der Übersichtskarte zum VSG vom 10.09.1919 im Maßstab 1:750 000 eine Begrenzung entlang folgender markanter Punkte vor:

„Von der Kote 1817 (Mallestiger)⁹ und nordwärts bis zur Drau an einem Punkt ungefähr einen Kilometer südöstlich von der Eisenbahnbrücke über den Ostarm der Schlinge, die jener Fluss etwa sechs Kilometer östlich von Villach bildet: eine im Gelände noch zu bestimmende Linie, wel-

- 5) Wenn Punkte mit „Kote“ bezeichnet sind, ist stets damit deren Meereshöhe in der Grenzverhandlungskarte angegeben; siehe: Heinz König, in Kommentar zu Art. 27-34, 36, 48, 55 VSG.
- 6) Die Bezeichnung „Kammlinie“ wird schon im Staatsgesetzblatt 1920 verwendet. Entlang des Hauptkammes verläuft seit 1919/20 die Grenze zwischen dem österreichischen Bundesland Kärnten und der slowenischen Gorenjska. Höchster Gipfel ist der Hochstuhl mit 2238 m ü. A.
- 7) Entlang der Wasserscheide, festgelegt in den „Description Generale de la Frontiere“ von 1923, BEV Wien (Staatsgrenzarchiv).
- 8) Uschowa, Ouschowa bzw. Guschowa (Kote 1929): südlich des Remschenikgrabens und nordöstlich des Paulitschsattels (Pavličevo sedlo).
- 9) Im VSG und im Kommentar zum VSG erfolgt die Ortsbeschreibung stets in West-Ost-Richtung, gleich wie im Abschnitt zwischen Österreich und Italien, wogegen in den französischen Description Generales die örtlichen Beschreibungen im Sinne der Sektions-Nummerierung zwischen Österreich und dem SHS-Staat d.h. in Ost-West-Richtung erfolgt. Diese bestehenden Beschreibungen werden unverändert übernommen. Wenn auf beide Quellen verwiesen wird, ist dies zu berücksichtigen.

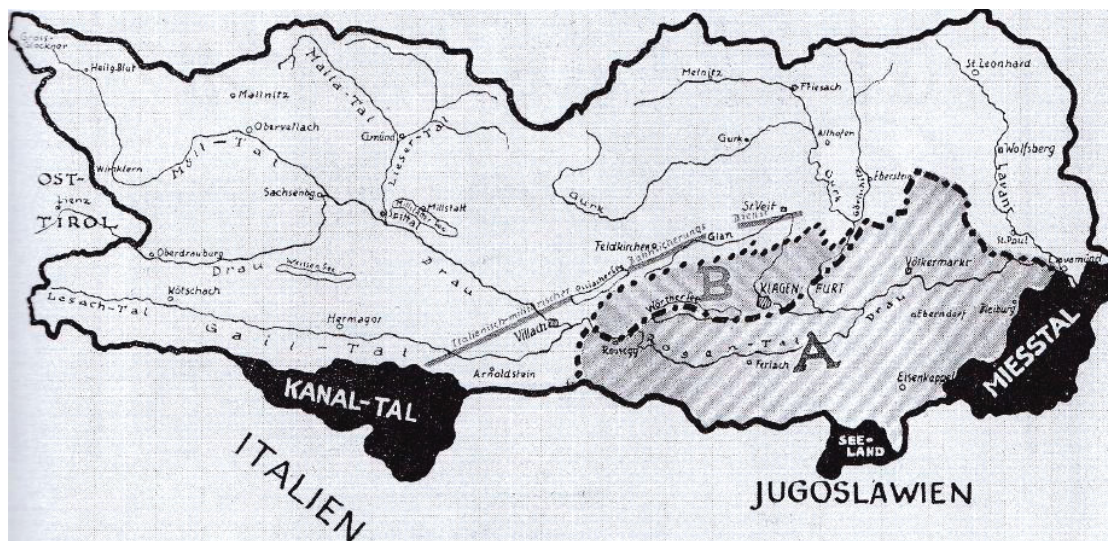


Abb. 3: Kärnten, Die zwei Zonen Lösung, Quelle: Claudia Fräss-Ehrfeld, 2000, *Geschichte Kärntens 1918-1920*, Verlag Johannes Heyn

che die Eisenbahn zwischen Mallestig (Malošče; heute: Finkenstein) und Faak schneidet und über die Kote 666 (Polana) verläuft; von dort südostwärts bis zu einem Punkt ungefähr zwei Kilometer flußaufwärts von St. Martin: der Lauf der Draufeld; von dort nordwärts bis zur Kote 871, etwa zehn Kilometer ostnordöstlich von Villach: eine im Gelände noch zu bestimmende ungefähre Richtungslinie von Süd nach Norden; von dort ostnordostwärts bis zu einem bei der Kote 725, etwa zehn Kilometer nordwestlich von Klagenfurt zu wählenden Punkte der Grenze zwischen den politischen Bezirken von St. Veit und Klagenfurt: eine im Gelände noch zu bestimmende Linie, welche über die Koten 1069 (Taubenbühl), 1045 (Gallenberg), 815 (Freudenberg) verläuft; von dort ostwärts bis zu einem im Gelände noch zu wählenden Punkt westlich der Kote 1075 (Steinbruchkogel): die Grenze zwischen den politischen Bezirken St. Veit und Klagenfurt; von dort nordostwärts bis zur Gurk bis zu dem Punkt, wo sich die Grenze des politischen Bezirkes Völkermarkt von diesem Fluss entfernt: eine im Gelände noch zu bestimmende Linie, welche über die Kote 1076 verläuft; von dort nordostwärts bis zur Kote 1899 (Speikkogel): die Grenze zwischen den politischen Bezirken St. Veit und Völkermarkt; von dort südostwärts bis zur Kote 842 (1 Kilometer westlich Kasparstein): die nordöstliche Grenze des politischen Bezirkes Völkermarkt; von dort ostwärts bis zur Kote 1522 (Hühnerkogel): eine im

Gelände noch zu bestimmende Linie, die im Norden von Lavamünd verläuft.“ (VSG Art. 27 [9])¹⁰

Abbildung 3 zeigt in deutlicher Weise, in welchem Umfang noch im September 1919 die vom SHS-Staat eingeforderte Abtretung angestrebt wurde und die in dieser Form auch von den Signatarmächten in Erwägung gezogen wurde.

Bei der eigentlichen Grenzfestlegung war nach der verbalen Beschreibung (z. B. Wasserscheide, Gewässer) vorzugehen, aber auf einzelne Besonderheiten Rücksicht zu nehmen. Hingegen war man im Ostteil Kärntens ab Uschowa, das Mießtal entlang seiner westseitigen Wasserscheide betreffend, bestrebt, dass die Gebiete nach bisherigen Gepflogenheiten und Wegen erreichbar waren, dass Besitzungen womöglich nicht zerrissen werden, dass die landwirtschaftliche Bewirtschaftung möglich blieb und dass kulturelle Bestandteile sowie Bildungseinrichtungen sinnvoll weiter genutzt werden konnten.¹¹

10) Beim Hühnerkogel, Kote 1522, ca. 6 km östlich von Lavamünd, kommt die Grenze des Abstimmungsgebietes wieder zurück zu der neu definierten Grenzlinie: „von der Kote 1522 ostwärts bis zur Kote 947 (St. Lorenzen) eine im Gelände noch zu bestimmende Linie, welche über die Kote 1330 verläuft“.

11) Martin Wutte, Vorläufiges Gutachten, 20.10.1919; KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7; und mehrere Ansuchen von Betroffenen zum Verbleib ihrer Liegenschaften beim österreichischen Staatsgebiet; KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.



Abb. 4: Messinstrument der Bauart um 1920

Eine Festlegung der Grenzen war auch darum notwendig, weil die genaue Abgrenzung für die in Aussicht genommenen Abstimmungszonen A und B daraus abgeleitet wurde.

Schlussendlich wurde die gesamte Grenze begangen, vermarktet (z.B. Platte an Mauer, Findling, Kreuz im Felsen), nummeriert und Entfernungen zwischen den Grenzpunkten vermessen. Man muss sich heute vergegenwärtigen, dass diese Entfernungsmessungen wohl überwiegend mit Stahlmaßbändern oder mit der 2 m-Basislatte und mit Sekunden-Theodoliten¹² (siehe Abbildung 4) erfolgten.

Die Grenze zwischen dem SHS-Staat und Kärnten [10]¹³ wurde in die 13 Sektionen beginnend bei XV (Landesgrenze zur Steiermark bis Hühnerkogel) bis XXVII (Mallestiger Mittagkogel bis Dreiländereck) unterteilt, wobei nur die Grenze in der ersten und letzten Sektion vor der Volksabstimmung fixiert werden konnte.

3.2 Details aus dem Grenzregelungsausschuss

Für die Grenzverhandlungen musste jeweils ein Delegierter beim Nachbarland akkreditiert sein. Für Österreich war Major Eduard Steyrer 1921 für den Abschnitt Ofen bis Hühnerkogel bestellt. Für die Leitung des Länderzentralbüros für die Kärntner Grenze wurde am 24.12.1920 Hugo

Henriquez¹⁴ mit Wirkung ab 1.1.1921 bestellt. Seine Aufgabe war die Zusammensetzung der entsprechenden Kommission zur Festlegung der Grenze, deren Vermarkung, die Bereitstellung von Personal (Militär) für Transporte und technischer Hilfsmittel.

Im interalliierten Grenzausschuss, dessen erste Sitzung am 29.7.1920 stattfand, waren Kapitän Parkinson (Großbritannien und Vorsitzender), Leutnant Lepage (Frankreich), Leutnant Maradei (Italien), Leutnant Col. Milan Nedić (SHS-Staat) und Martin Wutte (Österreich) vertreten. Die beiden Letztgenannten hatten kein Stimmrecht. Für das Ergebnis der Vermessungsarbeiten waren zuletzt verantwortlich: Oberstleutnant Eduard Steyrer (Österreich), General Ante Plivelić (Jugoslawien), Oberst A. J. Craven (Großbritannien, Präsident), Major Andre Jocard (Frankreich) und Major Enrico Calma (Italien).

Allerdings fiel es dem SHS-Staat schwer, das Ergebnis der Volksabstimmung¹⁵ (59 % stimmten in der Zone A für den Verbleib bei Österreich) zu akzeptieren, und er verweigerte anfangs die Teilnahme im GRA. Die Botschafterkonferenz lehnte aber eine Änderung der Vertragsbestimmungen ab, wodurch es ab Jänner 1922 zur Grenzfestlegung im bisher zurückgestellten Abschnitt vom Mallestiger (Mittagskogel, Kote 1817) bis zum Hühnerkogel (Kote 1522) kam.¹⁶ Die Westgrenze des Flussgebiets der Mieß (Meža) verläuft vom Uschowa über die Gipfel Mosganberg (Mozganov), Petzen (Kordeschkopf) (Peca), Gornja (Gornja) und Straunik, knapp nördlich von Leifling (Libeliče) zur Drau unterhalb von Lavamünd. In der Drau verläuft die Staatsgrenze in deren Mitte ca. 4 km flussabwärts bis zur Einmündung des linksufrigen Wölblbaches und dann aufwärts bis zum Hühnerkogel (Kote 1522) und weiter bis zum Jantschkifels (Junčkove peči, 1368 m).

14) Hugo Paul von Henriquez, Jurist und Historiker, geb. am 8.11.1870 in Linz, gest. am 13.07.1944 auf Schloss Annabichl bei Klagenfurt. 1916 kam er als Hofrat zur Kärntner Landesverwaltung nach Klagenfurt. Ab 1920 war er Vorstand des Länderzentralbüros für den Grenzdienst, 1922 erfolgte die Ernennung zum Landesamtsdirektor.

15) Da die Abstimmung im südlichen Abschnitt (= Zone A) schon pro Österreich ausging, erübrigte sich die Abstimmung in der Zone B.

16) In diesem Abschnitt gilt vom Westen bis zum Berg Uschowa die Wasserscheide zwischen dem Flussgebiet der Drau im Norden und der Save im Süden und ist ident mit dem alten Grenzverlauf der Herzogtümer Kärnten und Krain (s. König, Kommentar, S. 255 zum VSG).

12) Messinstrumente vergleichbarer Art wurden hergestellt von Kern/ Aarau, Zeiss/ Jena, Breithaupt/ Kassel, Fennel/ Kassel, Bamberg/ Berlin u. a. und waren bei den Vermessungsarbeiten im Einsatz.

13) Insgesamt hat der Abschnitt zum SHS-Staat 311 km und bestand aus 27 Abschnitten mit 7128 Grenzpunkten. Eine Revision wurde 1958-1962 vorgenommen, bei welcher 1919 Grenzpunkte neu gesetzt wurden.

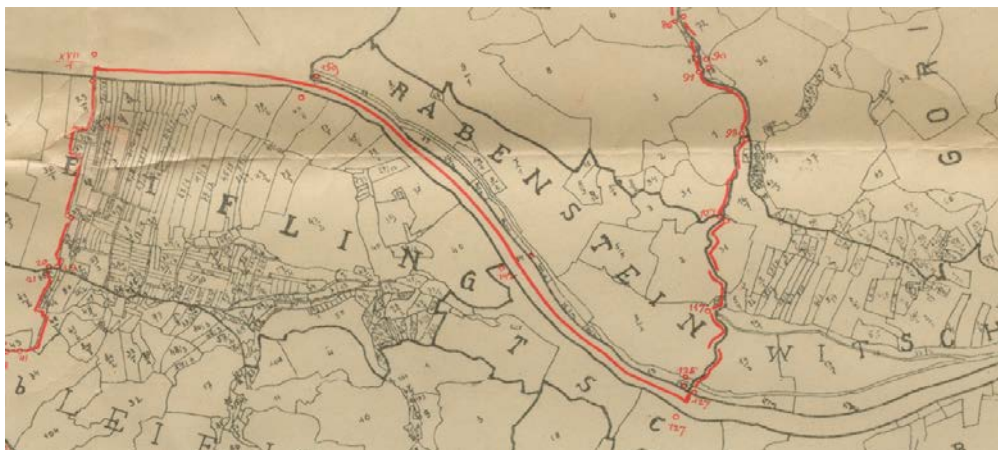


Abb. 5: Grenze im Draufloss, vom Wölblach bis Lavamünd, KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7

3.3 Die Miles-Kommission und der Standpunkt von Präsident Wilson

Durch die Kämpfe zur Jahreswende 1918/19 wurde die Aufmerksamkeit einer US-amerikanischen Studienkommission auf die „Kärntner Frage“ gelenkt [11]. Ende Jänner 1919 bereiste eine amerikanische Delegation, bestehend aus zwei Militärs, einem Historiker und einem Geographen, unter der Leitung von Sherman Miles¹⁷ Kärnten. Sie versuchten sich ein Bild von der Stimmung in der Bevölkerung zu machen. Ihr Abschlussbericht, der die Haltung der amerikanischen Friedensdelegation in Paris entscheidend beeinflusste, fiel zugunsten Österreichs aus.

Der „Miles-Bericht“ hält fest: *„Hinsichtlich der nationalen Wünsche überzeugte uns unsere Untersuchung, dass die Mehrheit der Bevölkerung zwischen der Drau und den Karawanken die österreichische Herrschaft bevorzugt. Die herausragende Tatsache ist eine große Zahl von Slowenen, die ausdrücklich die österreichische Herrschaft bevorzugen und deren politische Überzeugung ein ungeteiltes Kärnten ist. Der Slowene, der kein Jugoslawe sein will, ist eine merkwürdige Erscheinung, an die wir niemals geglaubt hätten, wenn wir ihm nicht selbst begegnet wären, und noch dazu in großer Zahl.“*¹⁸

Ihr Gutachten sah die Karawanken anstelle der Drau, die als Mindestforderung vom SHS-Staat

angestrebt wurde, als Staatsgrenze vor. Der „Miles-Bericht“ empfahl daher eindringlich, dass die endgültige Grenze zwischen Österreich und dem SHS-Staat in Kärnten an der Wasserscheide der Karawanken gezogen wird. Analog dazu empfahl er, die Grenze westlich und östlich der Karawanken zu den Karnischen Alpen¹⁹ bzw. dem Bacher Gebirge zu verlängern.

US-Präsident Woodrow Wilson setzt in Paris gegen den Widerstand der anderen alliierten Mächte für Südostkärnten eine Volksabstimmung durch, wodurch der Verlauf der Grenze ab dem Mallestiger ostwärts entlang der Karawanken d.h. entlang der Wasserscheide gesichert wurde.

4. Details der Grenzlinienfindung

4.1 Das Gebiet um Unterdrauburg (Dravograd)

In der Drau verläuft die Grenze als feste Grenze in der Flussmitte²⁰ bis zur Mündung des linksufrigen Wölblbaches²¹ und sodann entlang dieses Baches bis zum Hühnerkogel (Abbildung 5) und weiter bis zum Jantschkifels an der steirisch-kärntnerischen

19) Diese Formulierung im „Miles-Bericht“, die sich für den Klagenfurter-Bereich positiv auswirkte und von österreichischer Seite begrüßt wurde, hatte aber in der „westseitigen Verlängerung zu den Karnischen Alpen“ keinen Bezug zur davor geforderten Wasserscheide hinsichtlich des Tagliamento-Systems, was sich im Bereich Tarvis (Tarvisio) und Raibl (Cave del Predil) für Österreich nachteilig auswirkte.

20) KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.

21) Eine ursprünglich in Betracht gezogene (für Kärnten ungünstigere) Grenze im Multererbach wurde verworfen.

17) Miles berichtete regelmäßig gemeinsam mit LeRoy King an Archibald Cary Coolidge in Wien, der wiederum die amerikanische Delegation in Paris unterrichtete (s. Gigler, Berichte der Coolidge-Mission).

18) u. a. in Bundesrat, Stenographische Protokolle, 799. Sitzung, S. 46.

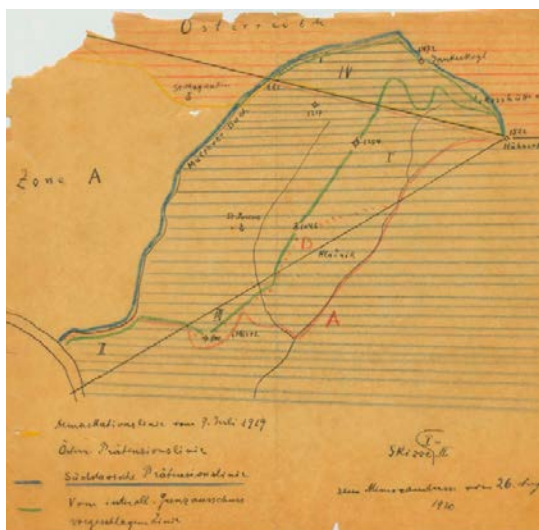


Abb. 6: Unterschiedliche Vorschläge zwischen dem Hühnerkogel und der Drau, KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7



Abb. 7: Grenze zum Mießtal, vorläufiger Verhandlungsvorschlag, KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7

Landesgrenze. Von hier zweigt die Landesgrenze nach Norden durch den Urbanigraben ab²².

Die Skizze I-II²³ (Abbildung 6) zum Memorandum vom 26.8.1919 zeigt unterschiedliche Vorschläge für die Grenzziehung, die hier die Demarkationslinie vom 7.7.1919, die österreichische Variante, die südslawische und jene des Grenzausschusses beinhaltet. Die vorgeschlagene Landesgrenze zwischen Kärnten und Steiermark vom Hühnerkogel über die Roßhütte zum Jankitzkogel wurde später verworfen.

4.2 Grenze zum Mießtal (Mežiška dolina)

Die Ostgrenze zum Mießtal (Miess-Bach) wurde in Protokollen (s. KLA Klagenfurt) entlang folgender markanter Örtlichkeiten beschrieben²⁴

22) Übersetzung aus „Description Generale de la Frontiere“ (Oktober 1923): „Ab dem trigonometrischen Punkt 1523 knickt die Grenze nach Südwesten ab, folgt dem Wölblgraben (Valbiklanec) bis zur Mündung dieses Tobels in die Drau (Drava), etwa 3000 Meter westnordwestlich von Dravograd (Unterdrauburg). Unmittelbar vor dem Zusammenfluss mit der Drau kreuzt die Grenze die Straße Dravograd-Völkermarkt und die Bahnstrecke Celje-Wolfsberg. Vom Zusammenfluss der Wölblschlucht mit der Drau verläuft die Grenze in der Mitte des Flusslaufs 5000 Meter stromaufwärts bis zu einer Stelle, die 1800 Meter stromabwärts der Stadt Lavamünd liegt.“ BEV Wien (Staatsgrenzarchiv).

23) Skizze zum Memorandum 26.08.1920; KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für Grenzregelungen, Schachtel 7

24) Martin Wutte, Vorläufiges Gutachten (vertraulich), 20.10.1919; KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 6.

(Abbildung 7): Uschowa, Bozganski Vrh, Velika Glava (Knieps), Gornja²⁵, Luschaalpe, Rischberg, dann zum Eisenbahntunnel der Bahnverbindung zwischen Bleiburg (Pliberk) und Slovenj Gradec (Windischgrätz), weiter im Grablacher Grenzbach, im Rekabach und in einem namenlosen Gerinne bis zur Gemeinde Neuhaus. Dann weiter von Strojna bis Leifling und zur Drau bei Görttschach (Goriče).

In der „Description Generale de la Frontiere“ (Oktober 1923) ist zu lesen (Zitat): „Von jenem Punkt, an dem die Grenze die Drau verlässt, verläuft sie etwa 4500 Meter Luftlinie unter Beachtung der Grundstücksgrenzen in Richtung Südwesten bis zu einem Punkt, der etwa 500 Meter nordöstlich des trigonometrischen Punktes 1053 (Strojna) liegt. Von diesem Punkt an folgt die Grenze im Allgemeinen der westlichen Grenze des Meza-Beckens (Miess)²⁶ und verläuft durch die trigonometrischen Punkte 1189 (Gornja), 2126

25) In einer Eingabe an die BH Völkermarkt vom 30.5.1921 ersuchen die Vinzenz Thurn'schen Stahlwerke um Berücksichtigung der Wünsche der Mießtaler Bevölkerung die überwiegend deutsch-österreichisch gesinnt war. Weiters liegen Eingaben bei der BH Völkermarkt vom Dezember 1920 von Privaten vor, die ebenfalls auf die Berücksichtigung ihrer Anliegen und auf die Zusagen des französischen Vertreters des Distriktausschusses hinweisen, die dann offensichtlich nicht berücksichtigt wurden. KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.

26) KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.

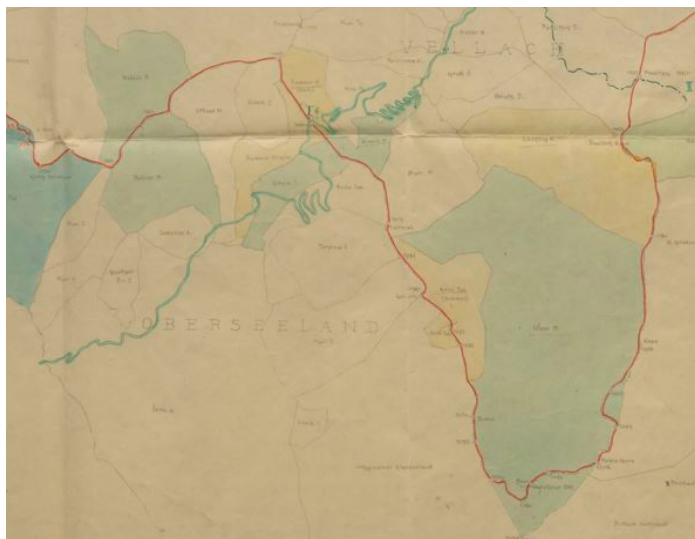


Abb. 8: Abtretung des Seelands; im Norden die KG Trögers, im Osten die KG Bad Vellach, KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7

(Velika Glava), 1575 (Mozganski vrh) bis sie auf die Wasserscheide zwischen dem Drau-Becken im Norden und dem der Save (Sava) im Süden trifft, an einem Punkt, der 800 Meter westlich des trigonometrischen Punktes 1930 (Ouschova, Ovseva) liegt.

Entlang dieser Strecke kreuzt die Grenze die Eisenbahn und die Straße Prevalje – Bleiburg etwa 4000 Meter südöstlich von Bleiburg und die Straße Bleiburg – Mezica etwa 7000 Meter südlich von Bleiburg.“

4.3 Grenze zu Seeland (Jezersko)

Die Gemeinde Seeland²⁷ befindet sich südlich und westlich des Seebergsattels (Jezerski vrh) und war vor 1918 ein ausschließlich slowenischsprachiger Teil Österreichs- und kartographisch genau erfasst, wobei auch die Grundbesitzer in den Karten verzeichnet waren. Die Grenze verläuft über den Kleinen Grintoutz (Virnikov Grintovec) (Kote 1654), Roblek (1374), Storschitz (Pristovški Storžič) (1670), Malinschek (1623), Jenkalm (1494), Baba (1217) und den Seebergsattel (2034) (Abbildung 8).

In der Sektion XXII am Grenzpunkt XXII/263 befindet sich der südlichste Punkt dieser Grenze, der mit einer Marmorplatte vermarktet ist.

27) Abtretung des Seelands: KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.

4.4 Grenze ab Eisenkappel (gegenüber Seeland) bis zum Ofen

Die „Description Generale de la Frontiere“ (Übersetzung) hält hierzu fest: „Ab Kote 1930 (Ouschowa) dem Zusammentreffen mit der Wasserscheide zwischen Drau und Save folgt die Grenze dieser Wasserscheide sehr eng bis zum Gipfel des Malestiger (Kote 1824) etwa 10 Kilometer südlich von Villach“.

Von dort folgt man dem Hauptkamm der Karawanken bis zum Pec (Kote 1509), westlicher Gemeinsamkeit (siehe Beschreibung unten).

„Auf diesem Kurs verläuft die Grenze durch die Koten; 1624 (Sadonig), 2163 500 Meter nördlich des Steiner Alpenkamms, 1218

(Seebergpass, Jezersko), 205 (Tolata Kosuta), 2087 (Veliki vrh), 1969 (Baba), 1369 (Loibpass), 2170 (Vrtaca, Deutscher Berg), 2238 (Hochstuhl), 1944 (Bärentaler Kocna), 1836 (Golica), 2143 (Mittagskogel), 1656 (Kamnat vrh), 1073 (Wurzenpass).

Auf der Strecke kreuzt die Grenze die Straße Völkermarkt – Kranj am Seebergpass (1218), die Straße Klagenfurt – Trzic am Loibpass (1369); die Bahnstrecke Rosenbach – Jesenice im Tunnel zwischen diesen beiden Ortschaften in Berg.“

5. Vermessung der Staatsgrenze

Wenn eine Grenze, so auch die Staatsgrenze, verhandelt, beidseitig anerkannt und dauerhaft vermarktet ist, so war bzw. ist deren Verlauf zu dokumentieren. Dazu erfolgte eine entsprechende Vermessung der Grenzsteine mit dem Anschluss an das bestehende Festpunktfeld²⁸.

Für den Abschnitt der Länder Kärnten, Krain und Küstenland galt der Koordinatenbezugspunkt am Krimberg²⁹ (Krim) südlich von Laibach und für den Abschnitt der Steiermark jener am Schöckl bei Graz.

28) Für die praktische Vorgangsweise gab es die Instruktion, betreffend den Vorgang bei den technischen Arbeiten der österreichisch-jugoslawischen Abgrenzungskommission; BEV Wien (Staatsgrenzarchiv) (Beilage 44 zu Punkt 956)

29) Die 1. Triangulierung erfolgte 1822-1828 gemeinsam für Kärnten, dem Küstenland und Krain. Die grundlegende Dreiecksseite war 32,7 km lang und reichte vom Monte Maggiore zum Monte Slaunig [12]

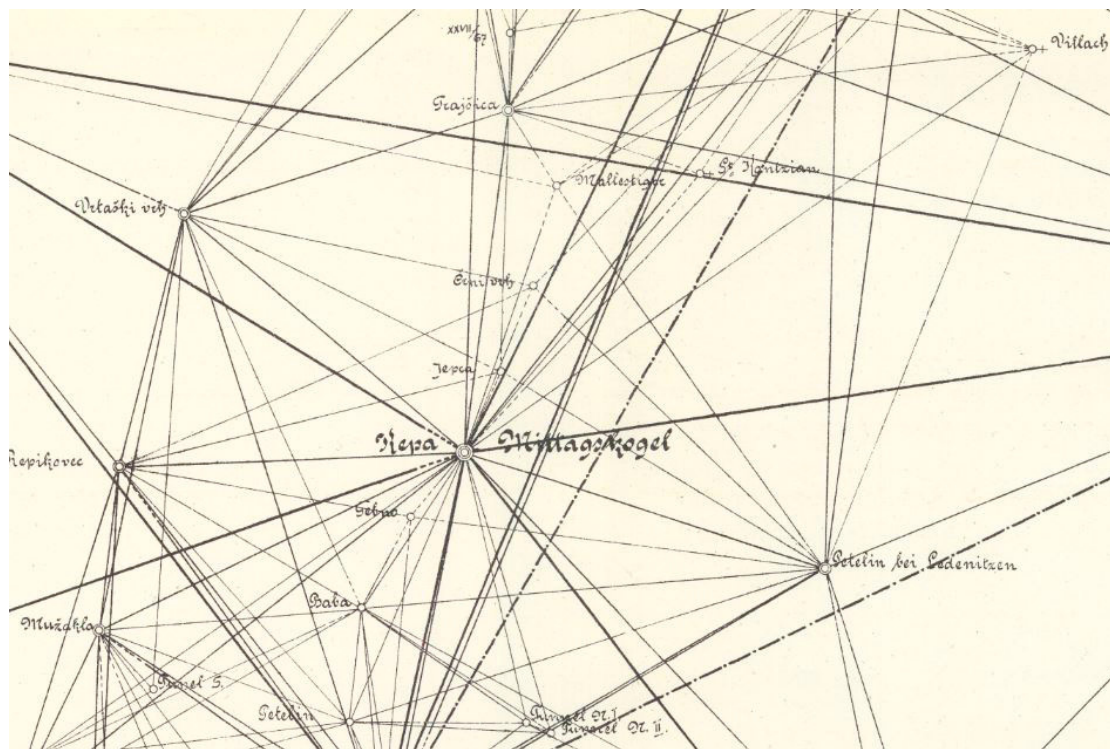


Abb. 9: Ausschnitt aus dem Triangulationsnetz, Bereich Mittagskogel, BEV Wien Staatsgrenzarchiv, aus Réseau de la triangulation pour le levé de la frontière entre l'Autriche et l'Etat des Serbes, Croates et Slovènes, Echelle 1:100.000

Im französischen Original (Données de la Triangulation) wird dazu, der deutschen Übersetzung folgend, festgehalten: „Die Eckpunkte dieser Triangulation wurden nach den Regeln des Internationalen Meridian-Vermessungsdienstes bestimmt und für die Vermessung des Militärgeographischen Instituts Wien mit ihren geographischen Koordinaten angegeben“. Auszugsweise seien die in Kärnten gelegenen Fixpunkte in Tabelle 1 angeführt.

Punkt	Geogr. Breite	Geogr. Länge
Gerlitzen	46° 41' 42"6101	31° 34' 54"3195
Petzen	46° 30' 42"3839	32° 25' 03"7018
Koralpe	46° 47' 14"4362	32° 38' 22"1664
Košuta	46° 26' 15"5809	32° 00' 41"1978

Tab.1: Vorgegebene Bezugspunkte in geographischen Koordinaten

5.1 Triangulierung

Dieses länderübergreifende Triangulationsnetz, hier nur für den Bereich Kärntens zu Slowenien betrachtet, erstreckte sich entlang der gesamten

österreichischen Staatsgrenze, und zwar vom Gartnerkofel bis über die Koralpe in West-Ost-Richtung über ca. 140 km und vom Staffberg, Gerlitzen und Koralpe bis zum Triglav (Triglav) und Uji Vch in Nord-Süd-Richtung über ca. 50 km³⁰.

Diese Leistung, basierend auf den damals vorhandenen Mitteln, ringt großen Respekt ab, wenn man die Schwierigkeiten des Verkehrs, des Transports, des Erreichens der Punkte, die Verständigung zwischen den handelnden Personen und das damals vorhandene Instrumentarium betrachtet.

Von den anlässlich der vorliegenden Studie betrachteten Triangulierungspunkten sind seit den damaligen Vermessungsarbeiten zumindest

30) BEV Wien (Staatsgrenzarchiv), Auszug aus Données de la Triangulation: „La triangulation exécutées à la frontière austro-yougoslave est basée sur le réseau trigonométrique de la mesure du méridien dans l'ancienne monarchie austro-hongroise. Les sommets de cette triangulation ont été déterminés conformément aux règles du service international de la mesure des méridiens et ont été fournis, pour les levés, par l'institut géographique militaire de Vienne, par leurs coordonnées géographiques“, siehe Tabelle 1.

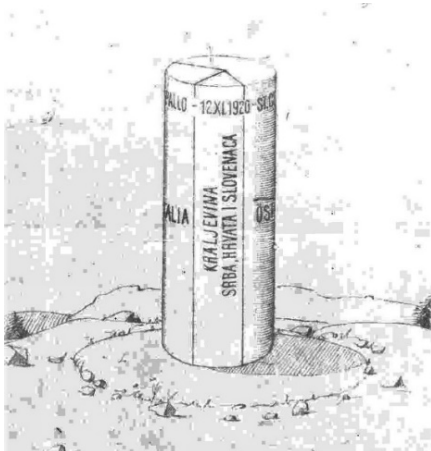


Abb. 10: Grenzstein am Ofen (Dreiländereck), KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7

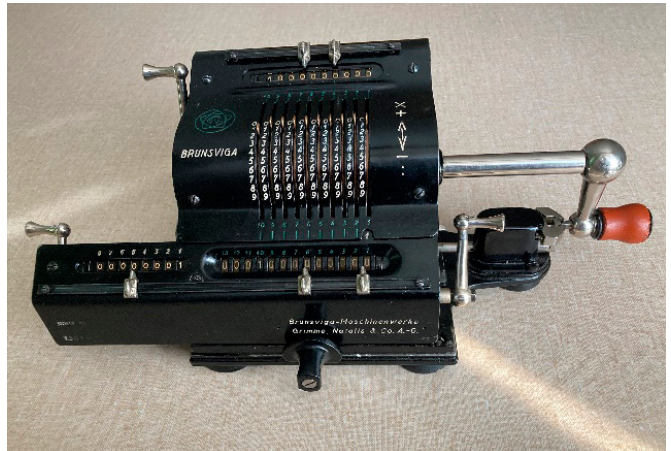


Abb. 11: Rechenmaschine, Marke Brunsviga

folgende erhalten geblieben: Petzen (3)³¹, Villacher Alpe (4), Gerlitz (1), Gartnerkofel (1), Hainschturn (Kladivo) (4), Koschutnikturn (Košutnikov turn) (1), Mittagskogel (Kepa) (1).

Dem kleinmaschigeren Netz (Seitenlängen von 1,5 bis 3 km Länge; ca. 100 Festpunkte und 200 Unbekannte) ist ein großmaschiges Netz (Seitenlängen von 35 bis 50 km Länge) übergeordnet, in dem Stützpunkte (z.B. Koralpe, Petzen, Gerlitz, Staffberg u. a.) vorgegeben waren.

5.2 Einmessung der Grenzsteine und Detailvermessung

Die Festpunkte des engmaschigen Netzes waren möglichst so gewählt, dass das Einmessen der Grenzpunkte und die topographische Bestandsaufnahme 1:25 000 (s. Données de la Triangulation, Anhang A und B)³² von diesen ohne größere Schwierigkeiten (mit Polygonzügen) erreichbar waren. Da es keine Distanzmessinstrumente in heute vergleichbarer Art gab, hatte man für die Vermessung der Distanzen Stahlmaßbänder und die 2 m-Basislatte zur Verfügung.

Am 3-Länder-Grenzpunkt am Ofen wurde eine besonders markante Vermarkung gewählt (Abbildung 10), die heute nicht mehr existiert. Wie aus der Zuschrift 126/v vom 14.11.1922 hervorgeht, wurde

31) Die in Klammern gesetzte Zahl zeigt an, wie viele TP-Steine bzw. deren Versicherungen am betreffenden Punkt seit 1920 erhalten geblieben sind (Quelle: BEV Punktkarten).

32) BEV Wien (Staatsgrenzarchiv), Staatsgrenzen, Commission de Delimitation de la Frontiere entre l'Autriche et l'Etat Serbe-Croate-Slovene; und KLA Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 14.

bei den Gummerner Marmorwerken ein Stein mit folgenden Maßen bestellt: eine zylindrische Form mit 40 cm Durchmesser, mit einer Höhe von 1 m über dem Erdboden und mit 50 cm unterirdisch im gewachsenen Boden. Dieser Grenzstein hat ein Gewicht von 400–500 kg.

5.3 Auswertung

Auch die anschließende Auswertung fordert berechtigten Respekt, weil es Auswertemöglichkeiten der heutigen Form nicht gab und das Aufstellen der mehrere hundert Bedingungsgleichungen und deren Berechnung für rund 200 Unbekannte (x, y) ein enormer Rechenakt waren.

Für die weiteren Berechnungen kann angenommen werden, dass Rechenmaschinen der Marke Brunsviga³³ (Abbildung 11) u.ä. Verwendung fanden, weil diese maschinellen Rechengeräte schon 1920 üblich waren.

6. Graphischer und koordinativer Vergleich der TP und GP

6.1 Vergleich mit dem Franziszeischen Kataster

Der Franziszeische Kataster wurde zwischen 1817 und 1861 erstellt und ist nach Kaiser Franz I. benannt, der die Katastervermessung durch das Grundsteuerpatent vom 23.12.1817 veranlasste. Die Vermessungsarbeiten erstreckten sich in Kärnten auf die Jahre 1822 bis 1828. Die erstellten Karten bildeten die Basis für das Auffinden und die

33) Brunsviga-Maschinenwerke, Grimme, Natalis & Co. AG; Ausstellung 1893 bei der Weltausstellung in Chicago.

Festlegung der Landes- und Staatsgrenze vor und nach 1918/1920.

Das österreichische Kartenmaterial war 1918/19 das genaueste Kartenwerk und die Arbeitsgrundlage für die Grenzregelungsausschüsse bei der Umsetzung des Vertrags von St. Germain. Da es zu Beginn der Katastervermessung ab 1818 noch keine durchgehende Triangulation gab, auf die man als Vermessungsgrundlage zurückgreifen hätte können, wurden mehrere lokale Koordinatensysteme erstellt. Für Kärnten, Krain und das Küstenland war der Bezugspunkt am Krimberg bei Laibach. Da nur ein inhomogenes Triangulationsnetz vorlag, sah man sich genötigt, ein eigenes Triangulationsnetz für die Staatsgrenze zu entwickeln [10].

Untersuchungen hinsichtlich der Lagegenauigkeit des Katasters ließen auf einen mittleren Fehler von >80 cm schließen, in ungünstigem Gelände, wie im Hochgebirge, war er wesentlich größer [13] [14].

6.2 Vergleichsberechnung, Streckenvergleich, Helmert-Transformation

Ein an Hand der vorliegenden Koordinaten vorgenommener Vergleich, einerseits im Krimberg-System, anderseits im aktuellen MGI-System, wie sich die seit dem Zeitraum 1920/1922 ausschließliche Triangulation auf die inzwischen mittels GPS bestimmten Punkte lagemäßig ausgewirkt hat, zeigt ein (überraschend) gutes Ergebnis. Der Vergleich der Distanzen (siehe auch [15]) wurde

unter folgenden TP's vorgenommen: Gartnerkofel, Gerlitze, Hainschturm, Petzen, Hochobir und Koralpe (Tabelle 2).

Das Ergebnis des Streckenfehlers von 10 cm auf 1 km ist insofern beachtlich, weil die Vermessung vor rund 100 Jahren ohne Streckenmessung und nur mit bloßer Winkelmessung erfolgen musste. Hinsichtlich sonstiger Berechnungen der trigonometrischen Festpunkte ist auf die dafür berufenen Experten im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und deren Veröffentlichungen zu verweisen (z.B. [15][16]).

Es ist zwar irrelevant und ohne Auswirkung auf den Verlauf der Staatsgrenze, wie die Koordinaten der trigonometrischen Festpunkte im Zeitraum 1920/1922 mit den heute aktuellen Koordinaten übereinstimmen, doch ist es von geodätischem Interesse.

Für diesen Vergleich wurden die damals in Kärnten, Krain und dem Küstenland geltenden Krimberg-Koordinaten den heute geltenden MGI-Koordinaten in einer 2D-Transformation gegenübergestellt. Eine Helmert-Transformation (2D) mit den Punkten 27-200 Dobratsch, 11-198 Gartnerkofel, 14-201 Gerlitzen, 78-211 Matschacher Gupf, 161-212 Koschnigturm ergibt einen ppm-Wert von 95,33 bzw. ca. 10 cm/1 km, wie dies schon in Tabelle 2 durch einen Streckenvergleich nachgewiesen wurde. Die mittleren Klaffungen der Transformation in Y-Richtung sind 70 cm und in X-Richtung 270 cm bei einer Vergleichsstreckenlänge von ca. 85 km. Das ergibt auf 10 km ein dy von

Von	Nach	Dist.-1922	Dist.-2022	Diff. [m]	Diff. je 1km [m]
Koralpe	Petzen	35022,53	35026,04	3,51	0,100
Koralpe	Hochobir	48502,67	48510,22	7,55	0,156
Koralpe	Gerlitzen	81470,57	81478,73	8,16	0,100
Koralpe	Gartnerkofel	129852,14	129866,54	14,40	0,111
Petzen	Gerlitzen	67203,39	67210,13	6,74	0,100
Petzen	Hainschturm	32265,08	32260,51	-4,57	-0,142
Petzen	Gerlitzen	67203,39	67210,13	6,74	0,100
Petzen	Gartnerkofel	111145,29	111158,30	13,01	0,117
Gerlitzen	Hainschturm	43635,43	43646,72	11,29	0,259
Gerlitzen	Gartnerkofel	48714,85	48720,94	6,09	0,125
Mittelwert				6,49	0,114
Varianz				1,49	0,021

Tab.2: Genauigkeit der Entfernungen ohne/mit Distanzmessungen

8 cm und ein dx von 31 cm – eine beeindruckende Genauigkeit!

Heute existieren bei den genannten TPs 4 bis 8 Haupt- und Versicherungspunkte, was für einen Vergleich die Kenntnis über die ehemaligen Punktbeschreibungen erfordert.

7. Staatsgrenzsurkunden

Der GRA hielt am 31.10.1923 seine Schlussitzung in Marburg ab. General Ante Plivelič, der Vertreter des SHS-Staates, beteuerte, dass die Grenze auch zur Zufriedenheit des SHS-Staates gezogen wurde und mit den Bestimmungen des Vertrages von St. Germain übereinstimme. In einer Note vom 17.9.1925 wurde Österreich informiert, dass für die neu festgelegten Grenzen eine generalisierte Beschreibung an den Völkerbund zu übergeben sei. Da dies für die österreichisch-jugoslawische Grenze noch nicht geschehen war, erstellte die Botschafterkonferenz einen Auszug aus jenen Dokumenten, die am 24.10.1923 in Marburg vom GRA verfasst wurden. Die beiderseitig korrigierte und ergänzte Endfassung wurde am 17.8.1926 dem Völkerbund übergeben.

Die Ergebnisse der Vermarkungs- und Vermessungsarbeiten sind im Grenzsurkundenwerk für die gesamte österreichisch-jugoslawische Staatsgrenze in 27 Sektionen, bezeichnet mit römischen Ziffern, zusammengefasst, wobei der Kärnten betreffende Abschnitt im Osten mit der Sektion XV beginnt. Die Staatsgrenze³⁴ im Abschnitt Kärnten umfasst die Sektionen mit den Bezeichnungen XV bis XXVII.

Je Sektion wurden Feldskizzen in verschiedenen Maßstäben, je nach den Geländebeziehungen (1:1000 bis 1:5000), mit 15 bis 20 Skizzen je Sektion erstellt, in denen der Verlauf der Grenze, die Grenzpunkte mit fortlaufender Nummerierung, Bemaßungen, Kulturzeichen, Namen und Anschrift der Eigentümer dargestellt wurden. Die Grenzpunkte sind koordinativ in drei Dimensionen angegeben und die Protokolle wurden von den Verantwortlichen der Vermessungen unterfertigt.

Zu Beginn jeder Urkunde³⁵ wird darauf verwiesen, wie die Bestimmungen des Staatsvertrags

34) Der von Bebauung und von Bewuchs freizuhaltende Gebietsstreifen beträgt zu Slowenien 1 m.

35) Art. 35 VSG: Die endgültigen Grenzregelungsprotokolle, die Karten und Beilagen werden in drei Urschriften ausgefertigt, von denen zwei den Regierungen der Grenzstaaten, die dritte der Regierung der Französischen Republik übergeben werden, welche letztere authentische Ausfertigungen derselben den Signatarmächten des gegenwärtigen Vertrages zugehen lassen wird.

15	auf österreich. Seite	37 68	158	91	30
16	auf jugosl. Seite	43 06	222	18	20
17	auf österreich. Seite	45 70	424	32	15
18	auf jugosl. Seite	49 07	538	11	25
19	auf österreich. Seite	52 23, 35 23	557 15	22	18 00
20	auf jugosl. Seite	55 12	241	31	35

aus Kärnten an Slowenien

Abb. 12: KG Weissenstein, Grenzbeschreibung mit Revisionen

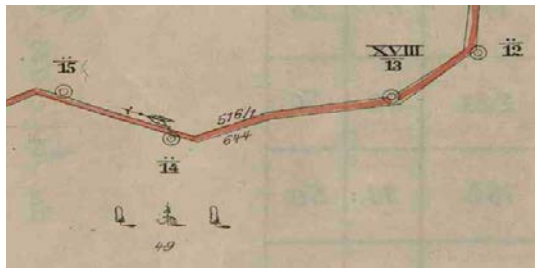


Abb. 13: KG Weissenstein, Plandarstellung 1:2880 zu Abb. 12



Abb. 14: Titelblatt einer Staatsgrenzsurkunde

von St. Germain über die Grenzführung in der jeweiligen Sektion mit dem Hinweis auf Art. 49, Abs 9, 11 u. 12 lauten. Weiters wird erklärt, dass der Verlauf der neuen Staatsgrenze zwischen den beiden Staaten von der Kommission endgültig festgelegt wurde.

In Abschnitten, wo ein (kleinerer) Bach, d.h. die Bachmitte, die Grenze bildet (z.B. Rekabach), wurde nicht immer auf beiden Seiten ein Grenzstein gesetzt, sondern es wurde abwechselnd auf der österreichischen und dann auf der Seite des SHS-Staates eine Vermarkung vorgenommen (siehe z.B. Sekt. XVIII, KG Weissenstein, Gemeinde Bleiburg, Abbildungen 12 und 13).

Zusätzlich wurden die Feldskizzen in einer Urkunde (in Buchform) für jede Sektion in Reinschrift zusammengefasst, die mit dem Titel „Beschrei-

- [4] *Rumpler Helmut* (unter Mitarbeit von *Werner Drobesh, Roland Bäck, Walter Liebhart*) (Hrsg.) (2013): Der Franziszeische Kataster im Kronland Kärnten (1823-1844) (Klagenfurt), S. 44.
- [5] *Wutte Martin* (1925): Kärntner Heimatatlas, in: Kärntner Landesarchiv Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7 bzw. Österreichischer Bundesverlag, Wien.
- [6] *Wutte Martin* (1919): Vorläufiges Gutachten über die Grenzen der durch den Friedensvertrag bestimmten Zonen in Kärnten; Geschichtliche Einteilung Südostkärntens zu Zwecken der inneren Verwaltung, in: Kärntner Landesarchiv Klagenfurt, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7.
- [7] *König Heinz* (2019): Die Entstehung der österreichisch-tschechoslowakischen Staatsgrenze unter besonderer Berücksichtigung der Sektion XI – Thaya-March-Donau, in: VGI 3/2019, S. 170-183.
- [8] *König Heinz* (2021): Die Grenze mit dem Serbisch-Kroatisch-Slowenischen Staat (Art 27 Abs 3 und 4, Art 49), in: *Kalb Herbert / Olechowski Thomas / Ziegerhofer Anita* (Hg.): Der Vertrag von St. Germain. Kommentar (Wien), S. 133-140. (<https://services.phaidra.univie.ac.at/api/object/o:1231904/get>; Zugriff: 3.11.2023).
- [9] *Kalb Herbert / Olechowski Thomas / Ziegerhofer Anita* (Hrsg.) (2012): Der Vertrag von St. Germain, Kommentar, Manz (Wien).
- [10] *Bernhard Andreas* (1967): Die österreichischen Staatsgrenzen, in: BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Hg.): 150 Jahre österreichischer Grundkataster (Wien), S. 17-26.
- [11] *Fräss-Ehrfeld Claudia* (2019): Die Grenzfindung in Kärnten 1918 bis 1920 aus österreichischer Sicht. in: *Gerhard Hafner et al.* (Hg.): Grenzen: Trennung und Verbindung 1918-2018 (Klagenfurt/Celovec – Ljubljana/Laibach-Wien/Dunaj 2019), S. 91-99.
- [12] *Lego Karl* (1968): Geschichte des Österreichischen Grundkatasters (Wien).
- [13] *Heinrich Holl* (1951): Die Fortführungsmappe des stabilen Katasters in Kärnten und Steiermark: über die Grundsätze der Parzellenaufnahme und das Ergebnis der Vermessung an Hand polygonaler Fortführungsmessungen (Dissertation, Graz).
- [14] *Herbst Peter* (2003): Wegerecht und Grenzstreitigkeiten. Aufklären, vermeiden, kommunizieren (Wien-Graz).
- [15] *Zeger Josef* (1987): Überprüfung des österreichischen Triangulierungsnetzes, in: VGI 2/1987, S. 54-60.
- [16] *Höggerl N. et al.* (1987): Die WM 101 GPS-Kampagne in Österreich, in: VGI 4/1987, S. 167 – 201.
- K.K. Finanzministerium* (1904): Instruktion für Polygonal- (Theodolit-) Vermessungen (Rote Instruktion) (5. Auflage, Wien).
- Mansberger Reinfried / Ernst Julius / Navratil Gerhard / Twaroch Christoph* (2016): Entstehung, Evidenzhaltung und Entwicklung des Franziszeischen Katasters, in: VGI 4/2016, S. 178-186.
- Meckel Friedrich* (1977): Bewegliche Staatsgrenzen Österreichs, in: VGI 1/1977, S. 1-5.
- Muggenhuber Gerhard / Meissner Helmut* (2019): Verwaltungstechnische Aspekte der Staatsgrenze, in: VGI 3/2019, Vorwort S. 159 und S. 164-169.
- Tröscher Andreas* (2018): Südlichster Punkt Österreichs, in: Salzburger Nachrichten, 18.7.2018 (<https://www.sn.at/panorama/oesterreich/suedlichster-punkt-oesterreichs-leben-am-steinernen-vorhang-33726838>, Zugriff: 3.11.2023).
- Twaroch Christoph* (2006): Staatsgrenzen, ihre Bedeutung für Österreich als Nationalstaat und als Mitgliedsland der EU, in: ZfVwt 2/2006, S. 9-23.
- Twaroch Christoph* (2019): Österreichs Staatsgrenzen und das Völkerrecht, in: VGI 3/2019, S. 160-163.
- Twaroch Christoph* (2022): Kataster- und Vermessungsrecht (4. Auflage, Wien).
- Veres Andreas* (2007): Slowenien – ein Grenzland mit Vorbildfunktion (Essen).

Archivalische Quellen:

Kärntner Landesarchiv Klagenfurt

AT-KLA 426, Länderzentralbüro für die Grenzregelung, Schachtel 7:

Wutte Martin / Obstl. Neditsch (1920): Vorgeschlagene Demarkationslinie zwischen Zone A und B.

Bezirkshauptmannschaft Völkermarkt, (1920-1921): Festlegung der Grenze im Abschnitt Gornia-Zimpermur (Vorschlag); Amtsvertrag aufgenommen von der BH VK (Vorbringen zur neuen Grenzlinie);

Bundeskanzleramt (Hrsg.) (1932): Österreichisch-Jugoslawische Grenzvermarkungsrevision;

Landesgendarmariekommando (Hrsg.) (1937): Nachweisung der Gendarmerieposten hinsichtlich ihrer Überwachungsrayone;

Wadl Wilhelm (2012), Länderzentralbüro für die Grenzregelung.

Staatsgrenzarchiv im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien

Beilage 44 zu Punkt 956, (1920): Instruktion betreffend den Vorgang bei den Arbeiten der österreichisch-jugoslawischen Abgrenzungskommission.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (1922/23): Feldskizzen, Sektionen XVII, XVIII, XXIV, Wien.

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (1923): Grenzbeschreibung, Sektionen XVII, XVIII, XXIV, Wien.

Craven J. A. Colonel et al. (1923): Description Générale de la Frontière, Frontière entre la République d'Autriche et le Royaume des Serbes, Croates et Slovènes, Maribor.

Anschrift des Autors

BR h.c. Dipl.-Ing. Dietrich Kollenprat, Gerichtl. zertif. SV und em. Ziv.-Ing. f. Vermessungswesen, Koschatstraße 50, 9020 Klagenfurt am Wörthersee.

E-Mail: d.kollenprat@gmail.com

Weiterführende Literatur

Clark Christopher (2012): Die Schlafwandler – wie Europa in den Ersten Weltkrieg zog (München).

Domej Theodor (2020): Vom Umgang mit Grenzen am Beispiel Kärntens, in: Einführung, Überblick, Reflexionen zum neuen Landesausstellungsformat – Carinthia 2020 (Klagenfurt) S. 53-63.

Egger Philipp (2018): Die Teilung Tirols nach dem Ersten Weltkrieg (Diplomarbeit, Innsbruck).

Fleckl Hannes (2017): Entwicklung eines Konzeptes zur Nachziehung des Katasters mittels Methoden der Geoinformation (Masterarbeit, Graz).



100 Jahre »Missão Cartográfica Austríaca« in Brasilien 1920-1924¹

100 years of »Missão Cartográfica Austríaca« in Brazil 1920-1924

Michael Hiermanseder, Wien

Kurzfassung

100 Jahre sind seit der Mission des Militärgeographischen Instituts nach Brasilien unter Arthur Freiherr von Hübl vergangen. Immer noch werden die Leistungen der österreichischen Offiziere für Bildflug, Kartierung und Druck der topographischen Karte 1:50 000 des Bundesdistrikts von Rio de Janeiro und bei der Ausbildung brasilianischer Militärgeographen durch Festschriften, Orden und Gedenkveranstaltungen gewürdigt.

Schlüsselwörter: Militärgeographisches Institut, Kartographie, Brasilien, Geschichte

Abstract

100 years have passed since the mission of the Military Geographical Institute to Brazil under Arthur Baron Hübl. The achievements of the Austrian officers in aerial photography, mapping and printing the 1:50 000 topographic map of the federal district of Rio de Janeiro and in the training of Brazilian military geographers are still recognized through publications, medals and commemorative events.

Keywords: Military Geographical Institute, cartography, Brazil, history.

1. Am Anfang waren die Österreicher²

Wie alle topographischen Dienste der Welt war auch der brasilianische Dienst am Beginn militärisch geführt. 1890 wurde in der Brasilianischen Armee eine Institution für die Aufgaben der Landesaufnahme gegründet. Diese Einrichtung hieß ursprünglich *Comissão para o Mapa Geral* (Kommission für die Generalkarte), wurde später in *Serviço Geográfico Militar* (SGM; Militärgeographischer Dienst) und zuletzt in *Diretoria de Serviço Geográfico* (DSG; Vorstand des geographischen Dienstes) umbenannt.

1912 schuf der damalige Major Alfredo Vidal mit Unterstützung des Bürgermeisters von Rio de Janeiro, General Bento Ribeiro, in der *Forte da Conceição* (Festung der Unbefleckten Empfängnis) eine Abteilung für Stereophotogrammetrie. Major Vidal veröffentlichte 1912 die Abhandlung „Introduction of Stereo Photogrammetry in Brazil“. 1914 autorisierte General Ribeiro den Kauf von zwei Stereoautographen Orel-Zeiss und lud den österreichischen Offizier Emile Wolf ein, den Einsatz in Brasilien zu koordinieren. Mit Beginn des Ersten Weltkriegs kehrte Wolf in den Dienst der österreichischen Armee zurück. 1918 initiierte

Major Vidal die Österreichische Kartographische Mission, die 1920 bei der *Serviço Geográfico do Exército* (SGE; Geographischer Dienst des Heeres) eintraf. Die vom Generalstab beauftragte Mission sollte die notwendigen technischen Grundlagen für die Kartierung des Staatsgebietes schaffen. Auch Wolf kehrte nach Brasilien zurück und überwachte 1922 die wichtige Arbeit zur Kartierung des Bundesdistrikts Rio de Janeiro im Maßstab 1:50 000.

Nach Auflösung des weltberühmten k.u.k. Militärgeographischen Instituts (MGI) in Wien nach dem ersten Weltkrieg gelangte eine Gruppe von elf Geodäten und Technikern unter der Leitung eines der letzten Kommandanten des Instituts, Feldmarschallleutnant Dr. Arthur Freiherr von Hübl, im Oktober 1920 nach Brasilien. Die Gruppe wirkte in der *Missão Cartográfica Austríaca* als Berater bei der Neuorganisation der *Diretoria de Serviço Geográfico* des Brasilianischen Heeres in Rio de Janeiro. Freiherr von Hübl kehrte 1924 in seine Heimat zurück, seine Mitarbeiter widmeten sich jedoch noch viele Jahre ihren verschiedenen Aufgabengebieten.

Die *Missão Cartográfica Austríaca* genießt auch heute noch ein hohes Ansehen bei den brasilianischen Kollegen. Die Erinnerung an sie wird von Publikationen, einer Gedenkstätte *Pátio Missão Austríaca* und durch eine Auszeichnung *Prêmio Missão Austríaca* des Brasilianischen Heeres

1) Der Verfasser dankt Herrn em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Waldhäusl für die Anregung zu diesem Beitrag und für die Zurverfügungstellung von Material.

2) Herbert Erwes/Hans-Peter Bähr, Das Wirken deutscher Geodäten in Brasilien – Versuch einer Dokumentation, zfv 5/2004, S 298 ff.



Abb. 1: Arthur von Hübl, österreichischer Feldmarschallleutnant, Chemiker und Kartograf

wachgehalten. Leider ist die Geschichte dieser österreichischen Militärmission in der eigenen Heimat nur Wenigen bekannt. Mit der Veröffentlichung dieses Artikels sollte ein entsprechender Beitrag geleistet werden.

2. Feldmarschallleutnant Arthur Freiherr von Hübl (1853-1932)

Arthur von Hübl (siehe Abbildung 1), ab 1875 Freiherr von Hübl (*20. März 1853 in Großwardein, heute: Oradea, Rumänien; †7. April 1932 in Wien), Dr. h.c., war ein österreichischer Feldmarschallleutnant (FML), Chemiker und Kartograf, der entscheidend an der Modernisierung der Kartographie beteiligt war.

Hübl trat in die Armee als Leutnant der Artillerie ein, als Oberleutnant studierte er von 1879-1881 in der Abteilung für Chemie an der Technischen Universität Wien. Er widmete sich besonders der technischen, analytischen sowie der Fotochemie. 1885 wurde er von der Artillerie-Zeuganstalt in das Militärgeographische Institut versetzt und betrieb stereophotogrammetrische Vermessungen und Farbdruck. Er arbeitete im Laufe seiner Tätigkeit entscheidend an der Modernisierung des Kartenwesens mit. So entstand damals die Österreichische Karte im Maßstab 1:75 000. 1885 wurde er Direktor des k. u. k. Militärgeographischen Instituts Wien. Er führte den Offsetdruck ein, förderte die Stereo-Photogrammetrie und verbesserte das galvanoplastische Verfahren. 1913 ging er als Feldmarschallleutnant in Pen-

sion, wobei er von 1916 bis 1918 wieder reaktiviert wurde. Von der Technischen Universität Wien erhielt er zusammen mit Giuseppe Pizzighelli (1849-1912), ebenfalls österreichischer Armeeeoffizier, den Titel Dr. h.c. für die Perfektionierung des fotografischen Prozesses von Platin. Er wurde mit der Voigtländer Goldmedaille der Wiener Photographischen Gesellschaft ausgezeichnet.

Nach seiner Pensionierung setzte er im Kartographischen Institut Wien, dem früheren Militärgeographischen Institut, seine Arbeiten fort. Mit seinen Innovationen und Methoden gewann Hübl internationale Anerkennung. 1920-1924 richtete er nach Wiener Vorbild ein Kartographisches Institut in Rio de Janeiro (Brasilien) ein. Er war auch Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.³

16. Brasilien.

Schon vor dem Kriege hat das große südamerikanische Reich, dessen Grund und Boden durch die günstigen Absatzbedingungen der Landesprodukte plötzlich einen hohen Wert bekommen hat, erkannt, daß geordnete, auf einer Wirtschaftskarte eingetragene Besitzverhältnisse eine unbedingte Forderung der staatlichen Verwaltung bilden müssen.

So ist es erklärlich, daß nach dem Kriege die Staatsverwaltung sofort daran ging, die topographische Vermessung des Landes großzügig anzulegen und raschestens intensiv in Angriff zu nehmen. Eine französische Militärmission hat die Zentralorganisation übernommen. Verfügbare Kräfte des Militärgeographischen Institutes in Wien, Geodäten, Topographen, aber in erster Linie Kräfte für die Einrichtung einer technischen Abteilung, für deren Detail-einrichtung Exzellenz Baron Dr. A. Hübl gewonnen wurde, gingen im Herbst des Jahres 1920 nach Rio de Janeiro ab.

Die aerophotogrammetrische Abteilung steht unter der Leitung des französischen Obersten Magnin und es sind sowohl die geodätischen als auch die aerophotogrammetrischen Arbeiten bereits in Angriff genommen.

Welches Interesse auch sonst die Intelligenzkreise Brasiliens speziell an der Aerovermessung nehmen, mag der Tatsache entnommen werden, daß nach einer englischen Nachricht der Brasilianer Dr. Ribas Cadaval eine Methode der Aerophotographie in Verbindung mit Kinematographie für topographische Zwecke vollendet hat, welche ganz besonders für die Vermessung der trockenen Gebiete des Nordosten Brasiliens von Nutzen werden soll. Dr. Cadaval schätzt, daß 15 bis 20 Jahre notwendig sein werden, um eine detaillierte Vermessung des 80.000 km² umfassenden Teiles von Brasilien bewältigen zu können.

Abb. 2: Eduard Dolezal, Auszug aus dem gegenwärtigen Stand der Photogrammetrie, IAP VI, 1919-1923, S 341

3) https://de.wikipedia.org/wiki/Arthur_von_H%C3%BCbl#cite_note-1

3. Die ständige Österreichische Kartographische Mission in Rio de Janeiro

Am 14. Oktober 1920 kam die Österreichische Militärkartographische Mission unter der Leitung von Arthur Freiherr von Hübl in Rio de Janeiro, Brasilien an. Der Zweck der Mission war die Ausbildung von Offizieren der brasilianischen Armee in der aerophotogrammetrischen Technik.

Nach der Ankunft erhielt Hübl als Verantwortlicher der Mission den Posten von Oberst Alfredo Vidal, Gründer des SGM. Unterstützung kam vom General und Bürgermeister des Bundesdistrikts Bento Ribeiro, vom Kriegsminister General Vespasiano Albuquerque und vom Außenminister Dr. João Pandia Calogeras. Hübl verbrachte zusam-

men mit seiner Frau fast vier Jahre in Brasilien und kehrte am 24. Juni 1924 heim.

Der Palácio Episcopal do Morro da Conceição, die alte Bischofsresidenz der Stadt von 1702, befindet sich auf der Spitze des Conceição-Hügels (Abbildung 3). Im Jahr 1920 wurde dort das Hauptquartier des Geografischen Dienstes der Armee eingerichtet und heute ist es ein Kartografisches Museum (Abbildung 4), das einige der ältesten Karten des Landes aufbewahrt und vom Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) gelistet ist.



Abb. 3: Lage des Palácio da Conceição am Conceição-Hügel



Abb. 4: Palácio da Conceição (Bischhofspalast), ab 1920 Sitz des Militärishen Geographischen Dienstes SGM

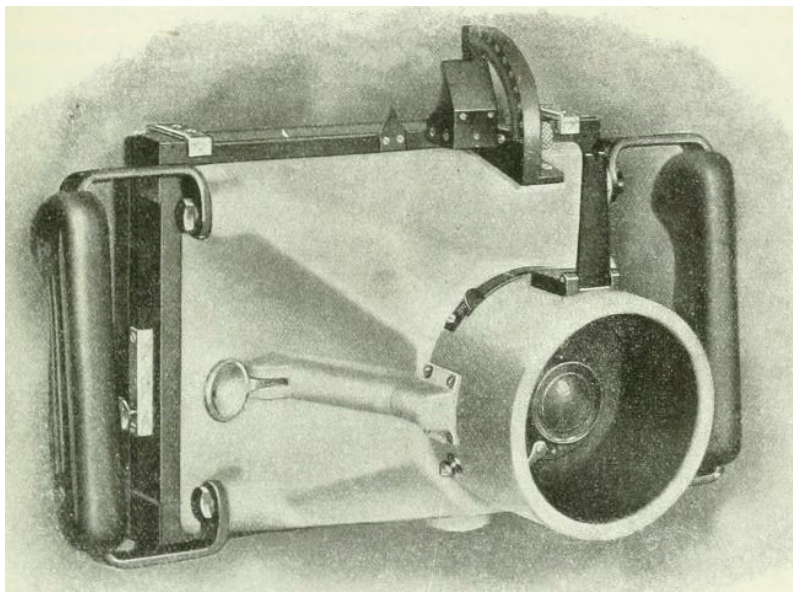


Abb. 5: Photogrammetrische Aerokamera Heyde nach Prof. Hugershoff (1882–1941)

Durch die Anwesenheit der österreichischen Mission hat sich die Sektion Stereophotogrammetrie, die ursprünglich im Generalstab des Heeres angesiedelt werden sollte, zum Militärgeographischen Dienst SGM entwickelt. In der Organisationsstruktur des SGM wurde jede Technische Gruppe durch einen Technischen Berater der österreichischen Mission unterstützt.

Mit der Ankunft der österreichischen Mission nahm die Arbeit der brasilianischen Militäringenieur ihre Anfang, und 1921 wurde im Bundes-

distrikt Rio de Janeiro zum ersten Mal in Brasilien ein aerophotogrammetrischer Flug geplant.

Die ersten Luftaufnahmen wurden über Morro dos Cabritos im Viertel Copacabana, im Maßstab 1:50 000 gemacht. Die aerophotogrammetrische Kamera von Heyde (Abbildung 5), Bildformat 13 × 18 Zentimeter, wurde an einem kleinen Caudron-Flugzeug (Abbildung 6) montiert. Das photogrammetrische Operat bestand aus 22 Flügen an 16 Tagen in einer Flughöhe von 2500 Metern mit einer Flugstrecke von 748

Kilometern. Es wurden dabei 948 Fotoplatten belichtet mit Vertikalaufnahmen einer Fläche von ungefähr 1345 km².⁴

4) „Der Wunsch, die Erde von oben her, vom Luftfahrzeug aus, zu vermessen, besteht so lange, wie es Luftfahrzeuge und photographische Apparate gegeben hat. Die meisten ... Methoden gehen von der Voraussetzung eines horizontalen und ebenen Geländes aus. ... Sehr viel schwieriger ist die Aufgabe, die sich die Vermessung eines unebenen Geländes zum Ziele setzt. ... es müssen ... mindestens zwei (Bilder) sein, jedes von einer anderen Stelle des Luftraumes aus aufgenommen.“ Carl Pulfrich, Über Photogrammetrie aus Luftfahrzeugen, Jena 1919.



Abb. 6: Caudron G Doppeldecker (1913)



Abb. 7: Stadtplan Rio de Janeiro (1922); blau gekennzeichnet: Weltausstellungsgelände und Ort der 100 Jahrfeier der Unabhängigkeit

Brasilianische Ingenieure wollten die Gelegenheit nutzen, zur Weltausstellung anlässlich der Jubiläumsfeierlichkeiten Brasiliens 1922 eine neue Karte zu erarbeiten. Durch die Verwendung von früheren Karten gelang es dem Ingenieurklub, eine geografische Karte in der Ausstellung zum hundertjährigen Bestehen der Unabhängigkeit zu präsentieren (Abbildung 7). Diese Karte gilt als die erste wissenschaftliche Karte von Brasilien. Neben der Kommission für die Übersichtskarte von Brasilien des Ingenieurklubs gab es die kartografische Abteilung im Militär, den Militärgeographischen Dienst (SGM). Dessen Hauptproponent, Major Alfredo Vidal, wollte die kartographischen Aktivitäten bei der Armee vereinheitlichen. Damit folgte er einem Trend in einigen europäischen Ländern. Der Militärgeographische Dienst führte fortschrittliche Techniken in Brasilien ein, wie die Stereo-Photogrammetrie, bei der dreidimensionale Darstellungen des Geländes durch Fotografien aus verschiedenen Positionen aufgenommen werden. Diese Methode war bekannt für ihre Schnelligkeit und die Möglichkeit, den kartographischen Vermessungen, die bis dahin im Wesentlichen planimetrisch waren, Höhenmessungen hinzuzufügen. Daraus resultierten aber auch Kontroversen

über die Triangulationsaktivitäten, die im Süden Brasiliens durchgeführt wurden. Der Militärgeographische Dienst der brasilianischen Armee bezeichnete die Kommission für die Übersichtskarte von Brasilien in der Zeitschrift „A Defesa Nacional“ als obsolet und unzureichend. Das war aufgrund der guten Kontakte von Major Vidal im Generalstab sowie in der Präfektur des Bundesdistrikts und zum deutschen Hersteller Carl Zeiss, in Brasilien als „Casa Zeiss“ bekannt, möglich.⁵

Die erste Arbeit des SGM war die Herstellung der aktuellen topographischen Karte des Bundesbezirks von Rio de Janeiro mit Höhenlinien im Maßstab 1:50 000, siebenfarbig gedruckt. Die fertige Karte wurde am Stand der Armee auf der *Centenary International Exhibition* vom 7. September 1922 bis 23. März 1923 ausgestellt. Heute wird die schöne Karte im Heeresmuseum bei der 5. DL/DSG, Rua Major Daemon 81, das am 6. Mai 1999 eröffnet wurde, aufbewahrt und ist dort kostenlos öffentlich zugänglich (Abbildung 8).

5) Maria Gabriela Bernardino, *Reinventing Brazilian Cartography: The Brazilian Institute of Geography and Statistics (1938-1968)*, Symposium on Atlases, Toponymy and the History of Cartography, Proceedings of the ICC 2015 Pre-Conference Rio de Janeiro, Brazil, 19-21 August 2015, S 130 ff.

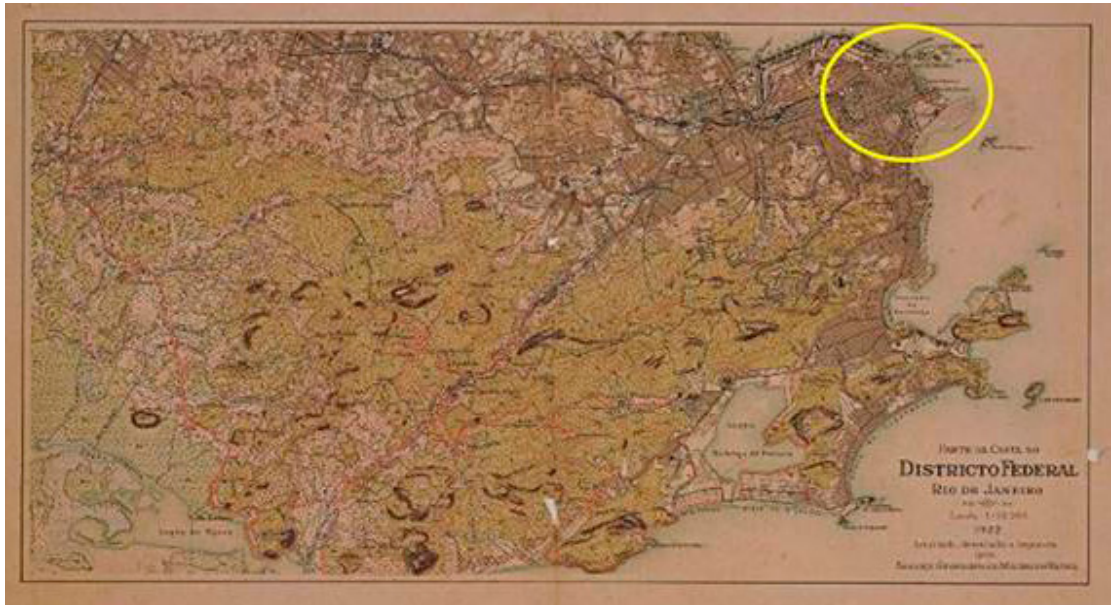


Abb. 8: Topographische Karte des Bundesbezirks Rio de Janeiro, Maßstab 1:50000, mit Höhenlinien, siebenfarbig gedruckt

Laut General Moysés Castello Branco Filho hatte die Österreichische Kartographische Mission mehrere Ziele⁶:

1. Untersuchung des kartographischen Projektionssystems, das für die Kartierung des Staatsgebiets geeignet ist (Gauss-Krüger-Projektionssystem in 3°, später 6° Meridianstreifen).
2. Projekt des Militärgeographischen Instituts, nach dem Vorbild des Militärgeographischen Instituts Wien, Vermessung für die Topographische Karte des Bundesdistrikts Rio de Janeiro zum Gedenken an das 100-jährige Jubiläum der Unabhängigkeit Brasiliens (1822-1922)⁷.
3. Die charakteristische Topographie des Bundesdistrikts, dominiert von den Tijuca-Bergen und der Madureira, in der wundervollen Bucht von

6) A Missão Cartográfica Austríaca e o Serviço Geográfico do Exército 1920-1970.

7) Die brasilianische Unabhängigkeitsbewegung führte in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts zur Lösung Brasiliens von der portugiesischen Kolonialmacht. In diesen Prozess waren sowohl Kaiserin Leopoldine als auch etwas später ihr Gemahl, Prinzregent Dom Pedro, involviert. Die Unabhängigkeit Brasiliens vom ehemaligen Vereinigten Königreich von Portugal, Brasilien und Algarve wurde am 7. September 1822 offiziell erklärt. Die formale Anerkennung erfolgte erst drei Jahre später mit einem Vertrag, der Ende 1825 sowohl vom neuen Kaiserreich Brasilien als auch vom Königreich Portugal unterzeichnet wurde.

Guanabara gelegen, war die ideale Kulisse für die Demonstration der modernen stereophotogrammetrischen Vermessungsmethoden für die Bundesdistriktskarte.

Die Mitglieder der Österreichischen Militärkartographischen Mission von Hübls waren:

- Oberst Carlos (Karl) Gaksch, Fachberater für Geodäsie;
- Oberst Augusto Pokorny, Technischer Topographie-Berater;
- Oberstleutnant Emílio (Emile) Wolf, Technischer Berater für Photogrammetrie;
- Major Eduardo Vallo, Technischer Berater für Luftbildfotografie;
- Oberleutnant Rudolf Langer, Technischer Fotoassistent;
- die Brüder Jorge (Georg) und Guilherme (Wilhelm) Winter, Fotografen;
- Max Kolbe, Assistent d. Photolithographie-Technikers, Einführung des Siebenfarbdrucks in Brasilien;
- João (Johann) Autenguber, Technischer Assistent für Druck;
- Adolfo (Adolf) Jedlitschka, Designer – Kartograf 1. Klasse.



Abb. 9: Stereograph Wolf im SGM in Brasilien, 1958.

Oberst Karl Gaksch diente in der kaiserlichen österreichischen Armee während des Ersten Weltkriegs vom Rang eines Leutnants bis zum Oberst. Er gehörte dem Militärgeographischen Institut Wien an, wo er zum Schluss als Ingenieurgeograph tätig war. Während seiner militärischen Laufbahn nahm er an der Aufnahme der Österreichischen Karte teil.

Als Gaksch 1920 nach Brasilien kam, war er das älteste Mitglied der Österreichischen Kartographischen Mission. Er war Organisator und technischer Berater des Amtes für Geodäsie des Militärgeographischen Dienstes. Er verblieb 26 Jahre in dieser Position und lebte bis zu seinem Tod am 9. Juni 1946 in Brasilien. An der Schule für Militärgeographen (Vorläufer des Military Institute of Engineering – IME) war er Professor für Geodäsie und Astronomie und wohnte im Carioca-Viertel von Santa Teresa.

Gaksch schlug dem Generalstab der Armee die Übernahme der Gauss-Transversalen Zylinder-treuen Projektion für die kartographische Darstellung Brasiliens vor, nicht nur um den territorialen Dimensionen gerecht zu werden, sondern auch den militärischen Zielen der Kartierung. Die Kompensation vertikaler Netzwerke nach der Methode der iterativen Approximationen oder die Gaksch-Methode führten praktisch zu den gleichen Ergebnissen wie die der kleinsten Quadrate. Typisch österreichische Eigenschaften, wie der korrekte



Abb. 10: Autostereograph Arcoverde 1943 (US Patentschrift US2448484A)

militärische Geist, die sprichwörtliche österreichische Noblesse und der respektvolle Umgang mit anderen zeichneten Gaksch aus.

Emílio Wolf entwickelte in Brasilien ein Auswertegerät (Abbildung 9) mit einfacher Anwendung und geringen Kosten – den Wolf Stereograph – der später von General Benjamin Arcoverde perfektioniert und von ihm Autostereograph⁸ (Abbildung 10) genannt⁹ wurde.

8) Official Gazette of the United States Patent Office, Band 613

9) Daniel Carneiro da Silva, Evolution of Photogrammetry in Brazil, Revista Brasileira de Cartografia (2012) NO 64/6: 749-765



Abb. 11: Prêmio Missão Cartográfica Austríaca.

Der damalige Bürgermeister der Stadt Rio de Janeiro, Ingenieur João da Costa Ferreira, beauftragte 1928 die englische Firma Air-Craft Corporation mit einem Bildflug über einer Fläche von 1165 km². Diese Arbeit war 1932 mit der Ausarbeitung von Katasterplänen in den Maßstäben 1:1000 und 1:5000 abgeschlossen.¹⁰

Nach jahrelangen Schwierigkeiten wurde 1932 die Kommission für die allgemeine Karte von Brasilien in den Militärgeographischen Dienst (Serviço Geográfico do Exército) unter General Alfredo Vidal integriert. Die bereits in Brasilien eingeführte Stereo-Photogrammetrie wurde eingesetzt, das Instrumentarium von Zeiss und Messvorschriften waren bereits vorhanden. Vidal pflegte Kontakte zu Europa, wo es Fortschritte in der Entwicklung der Photogrammetrie gab, da die brasilianische Nation technische Lösungen in der Kartographie benötigte, um alle Grenzstreitigkeiten im Süden auszuräumen. *„Die genaue Vermessung eines Landes wird allgemein als ein großartiges Werk von öffentlichem Nutzen anerkannt, das die Macht hat, alle Arten von Aktivitäten in Friedenszeiten zu begünstigen und zu fördern, und das die Macht hat, in Kriegszeiten Projekte zur Verteidigung gegen eine Invasion des Feindes zu unterstützen; unter allen Umständen ändert sich ihre jeweilige Bedeutung immer“* (Generalmajor William Roy, Royal Ordnance Service).¹¹

10) Eliane Alves da Silva, Anais do I Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica 1, 90 Anos da Missão Cartográfica Imperial Militar Austríaca no Exército Brasileiro – Relato Histórico da Fotogrametria (1920-2010).

11) Eliane Alves da Silva, <https://www.amiranet.com.br/artigo/passagens-da-cartografia-militar-pelo-mundo-73>

4. Heutige Würdigung der Österreichischen Kartographischen Mission in Rio de Janeiro

Zum Jahrestag der Ankunft der Österreichischen Militärkartographischen Mission in Brasilien wird in der Direktion des Geographischen Dienstes des Heeres (DSG) bis heute der Österreichische Missionsorden verliehen (Abbildung 11).¹² 1999 bemerkte der damalige Oberst, Leiter der 5aDL/DSG, später Generalmajor und Direktor der DSG Carlos César Paiva de Sá: *„Dies ist die wichtigste Errungenschaft der brasilianischen Armee in Bezug auf die Kartographie, denn mit der Einführung vertikaler Luftaufnahmen trat Brasilien sowohl in die Moderne als auch in die Photogrammetrie ein, wegweisend in Südamerika“*.

Auch 2023 wurde wieder, wie alljährlich, jemand mit dem *Prêmio Missão Cartográfica Austríaca* ausgezeichnet, der sich durch Verdienste um die Aktivitäten der Geographischen Servicedirektion verdient gemacht hat. Der Vermessungsingenieur und Herausgeber der Zeitschrift „A Mira“, Professor Luiz Carlos da Silveira, wurde geehrt.

Anschrift des Autors

Dr. Michael Hiermanseder, Managing Director, Leica Geosystems Austria GmbH (ret.); Partner, Rudolf & August Rost (ret.), Sommerergasse 11/5, A-1130 Wien, Österreich

Email: hiermanseder@gmx.net



12) <http://www.dsg.eb.mil.br/index.php/historico>

Dissertationen, Diplom- und Masterarbeiten

VODCA2GPPv2 –

An updated global model for estimating GPP from microwave satellite observations with enhanced cross-biome consistency

Raul Lezameta

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2024

Betreuer: Univ.Prof. Dr. Wouter Arnoud Dorigo MSc, Dipl.-Ing. Ruxandra-Maria Zotta

The monitoring of Gross Primary Production (GPP) on a global scale is essential for understanding the role of terrestrial ecosystems in the carbon cycle. Over the past few decades, significant progress has been made in the ability to globally monitor GPP using process-based models and remote sensing techniques. Despite these advancements, there are still substantial differences between GPP products and large uncertainties in GPP estimates. Recently, Vegetation Optical Depth (VOD) has emerged as a useful indicator for deriving GPP from microwave satellite observations. The carbon-sink driven approach developed by Teubner et al. (2019) utilizes VOD as a proxy for the carbon-sink strength of terrestrial ecosystems to derive GPP. Wild et al. (2022) further adapted this approach, creating a global long-term GPP dataset called VODCA2GPP, based on VOD observations from the Vegetation Optical Depth Climate Archive (VODCA). This approach has shown promising results with good agreements with in-situ GPP observations and independent GPP datasets. However, the model still exhibits limited performance in certain regions and biomes, particularly in arid regions and the tropics, where in-situ data is scarce.

This study builds on the VODCA2GPPv1 model by Wild et al. (2022) and tries to make it more consistent across biomes. This was done by employing a new random forest machine learning model, by merging three different eddy covariance datasets to more than double the training data in comparison with VODCA2GPPv1 and by adding two new predictors: Land Cover and low frequency VOD.

Validation with in-situ GPP observations showed significant improvements in comparison with VODCA2GPPv1. Median correlations increased from 0.67 to 0.78 r, RMSE decreased from 2.81 to 2.25 gC/m²/d, and bias decreased from 0.25 to -0.04 gC/m²/d. Analyzing the cross-validation results based on land cover demonstrated a more consistent performance of the model, making it better suited for diverse regions. Comparisons with the independent FLUXCOM, MODIS and TRENDY GPP datasets revealed good temporal

agreement with mean global correlations of 0.56, 0.62 and 0.42 r respectively, which could mostly be improved in comparison to VODCA2GPPv1 (+0.06, -0.02 and +0.03 r). Furthermore, the new model reduced global overestimation with respect to these datasets (bias to FLUXCOM and MODIS could be reduced by 0.44 and 0.45 gC/m²/d respectively).

However, the new model still has limitations. It still tends to globally overestimate GPP, particularly in tropical regions. Additionally, it exhibits limited performance in arid environments, highlighting the importance of accounting for water limitation in future models.

Overall, the inclusion of new predictors and additional in-situ data has resulted in a model that aligns better with in-situ GPP observations and independent GPP datasets. It also demonstrates improved consistency across different biomes and land cover classes. VODCA2GPPv2 complements existing GPP products and its long temporal availability makes it a valuable tool for studying the carbon cycle over extended time periods.

Quantifizierung von Vegetationsänderungen als Folge von Thermokarst mit Methoden der Fernerkundung

Clemens von Baeckmann

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2024

Betreuer: Priv.-Doz. Dipl.-Geograf Dr. Annett Bartsch

Die arktischen Permafrostgebiete befinden sich in einem schnellen Wandel und sind stark von der Klimaveränderung betroffen. Methoden der Fernerkundung können dabei helfen, diese Landbedeckungsveränderungen besser zu verstehen und zu überwachen. Gemeinsame Merkmale arktischer Permafrostgebiete sind Thermokarstseen und verschwindende Seen. Sie spielen eine wichtige Rolle für die geomorphologische, hydrologische und ökologische Entwicklung arktischer Gebiete. Die Veränderung des Lebensraumes wirkt sich auch auf die lokale Artenvielfalt aus. Die Vertiefung unseres Verständnisses der Prozesse im Zusammenhang mit Entwässerungsereignissen und entwässerten Einzugsgebieten in der arktischen Umwelt ist für zahlreiche Anwendungen (z.B. Landschaftsmodelle) von entscheidender Bedeutung.

Diese Arbeit fokussiert auf das Gebiet der Halbinsel Jamal im Norden Russlands, Sibirien. Jamal wird in eine diskontinuierliche und eine kontinuierliche Permafrost-Tundra-Region eingeteilt. Jamal ist von verschiedenen Tundra-Vegetationsgemeinschaften, Tauwasserseen,

Feuchtgebieten und Flussauen bedeckt. Entwässerte Tauseebecke unterscheiden sich zwischen den Regionen in ihrer Häufigkeit und Größe. Für diese Arbeit wurden mehrere entwässerte Seebecken auf der Jamal-Halbinsel manuell ausgewählt. Dabei wurden ein Nord-Süd-Klimagradient und verschiedene Entwicklungsstadien der entwässerten Seebecken berücksichtigt. Einige trockengelegte Seebecken liegen in der Nähe von Infrastruktur. Menschliche Aktivitäten auf Jamal umfassen nicht nur Gasinfrastrukturprojekte, sondern auch die Rentierhaltung dient als wichtigste traditionelle Landnutzungsform.

Entwässerte Seebecken und damit verbundene Landschaftsdynamiken wie Veränderungen der Oberflächenwasserfläche und der Vegetationsbedeckung können aus dem Weltraum überwacht und mit verschiedenen Fernerkundungsindizes beschrieben werden. Die Indizes können aus mehreren Satellitenbildern auf Jahres- und Zwischenjahresebene berechnet werden. Im Detail werden die ausgewählten entwässerten Seebecken auf dem Höhepunkt der Vegetationsperiode (zwischen dem 1. Juli und dem 31. August) und der zwischenjährlichen Landbedeckungsdynamik von 2016 bis heute bewertet. In dieser Arbeit werden multispektrale Bilddaten von Sentinel-2- und Landsat-8-Satelliten verwendet und eine Reihe verschiedener Landbedeckungsmetriken berechnet, wie z.B. den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) und die Tasseled Cap (TC)-Indizes. Die TC Indizes wurden an den entsprechenden Satelliten angepasst und die spektralen Indikatoren für „Brightness“, „Greenness“ und „Wetness“ berechnet.

Die Ergebnisse wurden anhand der verschiedenen Standorte verglichen, wobei der Schwerpunkt auf standortspezifischen Faktoren (wie relatives Beckenalter, hydrologische Konnektivität) lag. Darüber hinaus wurden Vergleiche mit Landbedeckungsklassifizierungen durchgeführt, die im Rahmen der ESA-Projekte DUE GlobPermafrost und Permafrost cci entwickelt wurden und auf der Fusion von Sentinel-1- und 2-Daten mithilfe maschinellen Lernens basieren. Diese Ergebnisse sollen helfen das Verständnis der Begrünung entwässerter Seen und der damit verbundenen Veränderung von Flora und Fauna und der einhergehenden Änderung von Biodiversität voranzutreiben.

Comparative Analysis of Airborne Laser Scanning and Image Matching Point Clouds in Forestry: Enhancing Temporal Resolution using Machine Learning

Lorenz Schimpl

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Photogrammetrie, Technische Universität Wien, 2024

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Norbert Pfeifer, Anna Iglseder MSc, Dipl.-Ing. Dr. Markus Hollaus

Luftgestützte Laserscanning-Punktwolken werden landesweit zur Erstellung digitaler Oberflächenmodelle und weiterführend zur Ableitung von Informationen über Waldgebiete verwendet. Diese Aufnahmemethode gilt bis dato als state-of-the-art bei der Aufnahme, vor allem in bewaldeten Gebieten. Da diese jedoch in Österreich und Europa zwar regelmäßig, jedoch selten erstellt werden, ist die Modellierung basierend auf Airborne-Laserscanning-Daten (ALS) von Waldparametern in hoher zeitlicher Auflösung schwierig. Insbesondere die Ableitung von dynamischen Informationen wie Biomasse oder der Zustand eines Baumbestandes nach Umweltereignissen wie Unwettern oder Waldbränden beziehungsweise das Monitoring von Schutzgebieten erfordert relativ hohe zeitliche Auflösungen. Luftbilder und daraus abgeleitete bildbasierte Punktwolken bieten eine Alternative, Oberflächenmodelle zu erstellen. Diese Daten werden in kürzeren Intervallen aufgenommen, wie etwa jährlich in Wien oder flächendeckend für Österreich alle drei Jahre. Vor allem in Gebieten mit hoher Vegetationsbedeckung wie Wälder führen die beiden Modellansätze zu unterschiedlichen Höhenwerten.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, diese Unterschiede zu quantifizieren und Möglichkeiten zu eruieren, die Image Matching (IM) Modelle an die ALS Modelle anzunähern. Zur Entwicklung und Evaluierung eines solchen Prozesses zur Minimierung der Höhenunterschiede wurde ein Gebiet innerhalb des Wienerwaldes im Bereich des Lainzer Tiergartens ausgewählt. Zunächst wurden aus den gegebenen Punktwolken der beiden unterschiedlichen Verfahren topographische Modelle, wie das normalisierte digitale Oberflächenmodell (nDSM), abgeleitet und innerhalb einer eigens definierten Kronendach-Maske statistische Parameter für verschiedene Kernelgrößen des IM nDSM berechnet. Diese Parameter wurden zusammen mit der bekannten Abweichung zwischen dem ALS- und IM-Modell verwendet, um eine Random Forest Regression für die Erstellung eines Anpassungsmodells der IM an die ALS Daten zu trainieren. Die Validierung, durchgeführt anhand dreier separat definierter Gebiete, zeigt eine Annäherung der Höhenwerte an das als Referenz verwendete Laserscanning-nDSM innerhalb der mit Baumkronen überschirmten Flächen. Diese Verbesserung zeigt eine Annäherung der beiden Modelle von etwa 77 % bezogen auf den Median der Abweichungen zwischen dem angepassten und dem gegebenen Modell gegenüber der Ausgangssituation. In langgezogenen Lücken im Kronendach stößt die in Python implementierte Regressionsfunktion an ihre Grenzen und ist daher nicht in der Lage, die im IM-Modell nicht erkennbaren Lücken in bewaldeten Gebieten adäquat an das Laserscanning-Modell an diesen Stellen anzupassen.

Bestimmung und Verbesserung von Höhenmodellen aus Crowd-Sensed GNSS-Trajektorien

Andreas Bayr

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Photogrammetrie, Technische Universität Wien, 2024

Betreuer: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Norbert Pfeifer, Dipl.-Ing. Dr. Johannes Otepka-Schremmer

Der Anstieg des Geländes spielt bei Langstreckenrennen von professionellen Radsportlern eine zentrale Rolle. Aber auch bei der Tourenplanung im Freizeit- und Amateursport ist dieser Aspekt relevant, besonders für Mountainbiker. Daher greifen gängige Smartphone-Anwendungen für Radfahrer auf Höhenmodelle zurück, um die zu erwartende Steigung bereits bei der Routenplanung abzuschätzen zu können. Viele der Anwendungen streben eine weltweite Abdeckung an. Daher werden dazu meist globale Modelle wie SRTM (Shuttle Radiometry Topography Mission) verwendet. Im Vergleich zu nationalen digitalen Höhenmodellen, die mit Hilfe von Airborne Laser Scanning (ALS) erstellt wurden, haben solche globalen Modelle den Nachteil einer groben Auflösung und einer begrenzten Genauigkeit, was eine korrekte Schätzung der zu erwarteten Höhenmeter erschwert.

Heutzutage zeichnen viele Radfahrer ihre Aktivitäten mit Hilfe von globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) mit Smartphones oder Fitnesscomputern auf, welche die aufgezeichneten Daten zum Zweck der Trainingsdokumentation speichern. In dieser Arbeit wird die Nutzung solcher mobiler GNSS-Daten für die Modellierung digitaler Straßenhöhen vorgeschlagen, um die Planung von Radtouren zu verbessern. Da die Genauigkeit mobiler GNSS in Bezug auf Lage und Höhe variiert, ist es wichtig, diese Daten kritisch zu prüfen, um statistische Sicherheit und Integrität zu gewährleisten. Als Eingabedaten wurden über 23000 von Nutzern aufgezeichnete Trajektorien verwendet, die aus über 40 Millionen GNSS Punktmessungen bestehen, die im Zeitraum von drei Jahren zwischen 2019 und 2021 aufgezeichnet wurden.

Diese Arbeit stellt verschiedene Methoden vor, um die Homogenität und Qualität dieser Daten zu verbessern, wobei die Beseitigung grober Fehler und die Korrektur systematischer Fehler im Mittelpunkt steht. Die entwickelten Methoden aggregieren die Daten zu einem rasterbasierten Straßenhöhenmodell, welches in sich eine globale Anwendbarkeit und eine statistische Robustheit gegenüber Ausreißern vereint. Auch wenn sich das berechnete Modell in seiner Ausdehnung auf das Gebiet der Stadt Wien beschränkt, wurden die Methoden im Hinblick auf eine globale Anwendbarkeit entwickelt. Da sich die von Nutzern generierten Daten

zu einem Großteil auf Straßen und Radwegen befinden, sie aber zusätzlich eine inhomogene Verteilung über das Gebiet der Studie hinweg aufweisen, hängt die statistische Sicherheit des resultierenden Modells stark von der räumlichen Verteilung und Qualität der Daten ab.

Ein Vergleich mit Referenzdaten in Bezug auf Lage und Höhe hat gezeigt, dass unser Modell die Straßen mit einer signifikant besseren Genauigkeit als SRTM repräsentieren kann. Unser Modell zeigt gegenüber SRTM Verbesserungen in der mittleren Höhenabweichung um 22 % (von 1,09 m auf -0,15 m), beziehungsweise auf ein ALS Höhenmodell. Die Standardabweichung verbessert sich diesbezüglich sogar um 36 % (von 5,84 m auf 2,11 m). Da die aufgezeichneten Daten von Radfahrern stammen, konzentriert sich das entwickelte Modell hauptsächlich auf Straßen und Radwege und kann daher etwa 25-30 % aller Straßen im untersuchten Gebiet abdecken. Obwohl unser Modell in erster Linie für die Verbesserung der Routenplanung in einer mobilen Fahrrad Anwendung entwickelt wurde, könnte es auch in ortsbezogenen Diensten oder Stadtplanungsanwendungen großen Nutzen bringen.

Informatikaspekt der Geoinformationswissenschaft

Edin Haskić

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, Technische Universität Graz, 2024

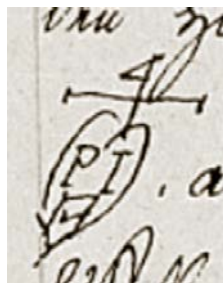
Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. (FH) Dr. Johannes Scholz

Betreuer*in: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. (FH) Dr.techn. Johannes Scholz

Die Geoinformationswissenschaft (GIScience) ist ein sich schnell entwickelnder Bereich, der sich stark auf Informatikwerkzeuge und -techniken stützt, um Geodaten zu sammeln, zu verarbeiten und zu analysieren. Durch eine gründliche Durchsicht der Literatur zu diesem Thema soll in dieser Studie untersucht werden, wie die Informatik die GIS-Wissenschaft beeinflusst hat. In der Studie werden die wichtigsten Informatikwerkzeuge und -methoden, die in der GIS-Wissenschaft verwendet werden, identifiziert und ihre Auswirkungen auf die GIS-Forschung und -Anwendungen untersucht. Darüber hinaus wird die Studie die Zukunft der Informatik in diesem Bereich untersuchen und ihr Potenzial für die Bewältigung wichtiger Herausforderungen der GIS-Wissenschaft bewerten. Die Ergebnisse dieser Studie werden zum wachsenden Wissensbestand über die Rolle der Informatik in den GIS-Wissenschaften beitragen und Einblicke in die Art und Weise geben, wie die Informatik genutzt werden kann, um unser Verständnis komplexer georäumlicher Phänomene zu verbessern.

Grenzsteine – Steine erzählen Geschichte(n)

Frangelnwald (Wöllersdorf)



Im Ried Frangelnwald am Hasenberg südlich von Wöllersdorf steht ein aufwändig gestalteter Grenzstein. Zu sehen sind die Initialen „PIH“ in einer herzförmigen Umrahmung, darüber ein Doppelkreuz mit einer an die Ziffer „4“ erinnernden Form sowie die Jahreszahl „1744“.

Die Suche nach der Erklärung der Initialen gestaltete sich schwierig. Der franziszeische Kataster lieferte keine Hinweise.

In der Grenzbeschreibung des josephinischen Katasters der Katastralgemeinde Piesting fand sich der Grenzstein angeführt (siehe Abbildungen oben rechts).

Die Grenzbeschreibung des josephinischen Katasters der KG Wöllersdorf enthält den zusätzlichen Hinweis, dass der *Marchstein ... die Piestinger Gemeind und des Ignatz Haidenwolf von Neustadt Waldung gränzet ...*

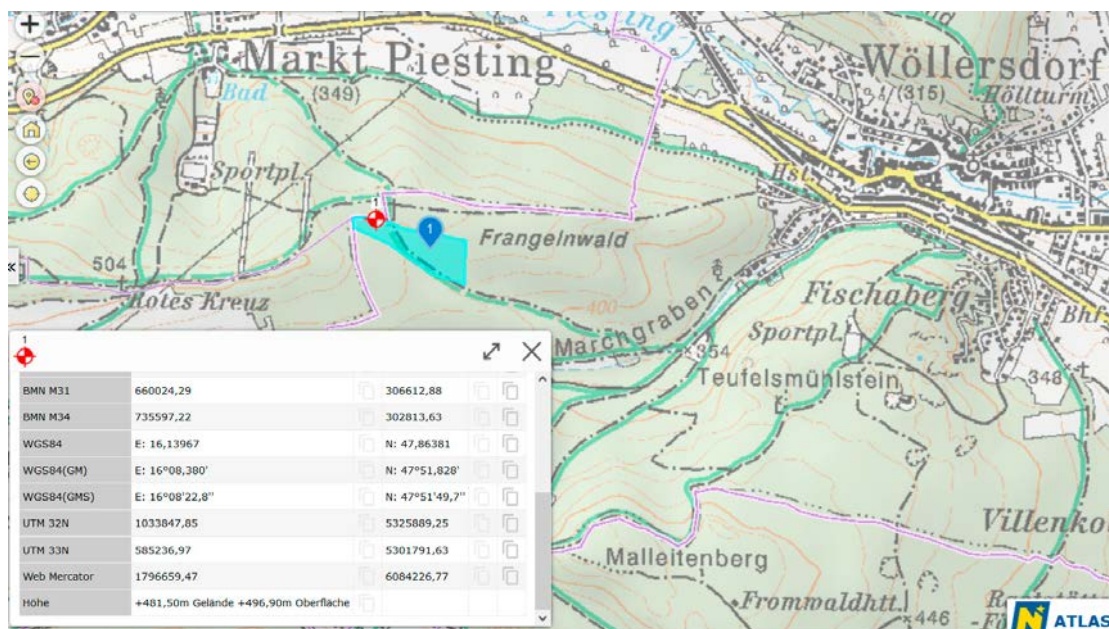
In der Wiener Zeitung vom 15. und 19. März 1806 kann man eine *Convocation [Einberufung] Haidenwolfischer Erben und Gläubiger* finden, aus der sich ergibt, dass der Eisenhändler Ignatz Haidenwolf Besitzer einer Landwirtschaft war und kürzlich verstorben ist. Eine Tag-

satzung wurde in der Amtskanzlei der Herrschaft Schönaun angesetzt.

Aus der Matrikel der für Schönaun zuständigen Pfarre Sollenau ist zu erfahren, dass Ignatz Haidenwolf am 30. Jänner 1806 im Alter von 54 Jahren ledig verstorben ist und zuletzt in Schönaun 49 gewohnt hat.

Die Jahreszahl 1744 und die Initialen PIH waren damit aber noch nicht geklärt.

Über die Pfarrmatrikel von Wiener Neustadt ergab sich, dass Ignatz Haidenwolf, Sohn von Paulus Haidenwolf und Catharina, am 28. Juli 1752 in der Pfarrkirche Wiener Neustadt getauft worden ist. Die Trauung von Paul Josephus Haidenwolf, bürgerlicher Eisenhändler, mit Anna Catharina Schulz-Morlin fand 1739 in Wiener Neustadt statt. Ignatz Haidenwolf hatte neun Geschwister. Die Mutter stirbt 1765 als Witwe. Wie viele der Kinder im Jahr 1765 noch am Leben waren, muss wegen des Fehlens eines Bandes der Sterbematrikel von Wiener Neustadt offen bleiben; jedenfalls waren sie mit dem Tod der Mutter alle Vollwaisen.



An der Grenze des Grundstücks Nr. 1099 der KG Wöllersdorf sind noch weitere gleichartige Grenzsteine zu finden.

Zu den Grenzsteinbezeichnungen:

Mit großer Sicherheit kann angenommen werden, dass „P I H“ für „Paul Joseph (Paulus Josephus) Haidenwolf“ steht. Er könnte im Jahr 1744 den Wald am Hasenberg – das heutige Grundstück Nr. 1099 der KG Wöllersdorf – erworben und mit Grenzsteinen gekennzeichnet haben. Von 1765 bis 1806 war Ignatz Haidenwolf Besitzer des Waldes. Zur Zeit der Anlegung des franziszeischen Katasters hatte das Grundstück schon einen neuen Besitzer.

Die einer arabischen 4 gleichende Form ist mit ziemlicher Sicherheit als ein einen Kreuzsegen gebendes Symbol zu betrachten und diente früher vor Einführung der Hausnummern (um 1770) häufig als Hauszeichen/Hausmarke.

Quellen:

Josephinischer Kataster (1785-1787), NÖLA, JosFass UW 071 Piesting und JosFass UW 229 Wöllersdorf.

Franziszeischer Kataster, NÖLA, FK Prot UW 359 Wöllersdorf (1820).

Wiener Zeitung vom 15. und 19. März 1806. (anno.onb.ac.at).

Pfarrmatrikel der Pfarren Sollenau und Wiener Neustadt-Hauptpfarre, Diözesanarchiv Wien (data.maticula-online.eu/de).

Hermann Nebe: Ueber das mittelalterliche Zeichen der 4, Versuch einer Deutung, in: Thüringer Monatsblätter 1939/12.

Zusammengestellt auf Grundlage der Recherche von Elisabeth Knapp durch Christoph Twaroch

Aus dem Vereinsleben

Wir gratulieren!



Von links nach rechts: Dipl.-Ing. Julius Ernst, Dipl.-Ing. Rainer Feucht, Dipl.-Ing. Wernher Hoffmann

Mit 29. Februar 2024 beendete Dipl.-Ing. Julius Ernst seine aktive Laufbahn im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Ernst war zuletzt Leiter der Gruppe Kataster und somit zuständig für die 41 Vermessungsämter, deren Dienststellen und in den letzten eineinhalb Jahren auch der Stabsabteilung Staatsgrenzen. Von 2015 bis 2022 war Julius Ernst Präsident der OVG und hat Österreich beim *Permanent Committee on Cadastre (PCC)* der Europäischen Union vertreten. Bei seinen Mitarbeitern wurde Julius Ernst für sein stets offenes Ohr geschätzt. Sein Engagement bei der Führung und Weiterentwicklung war in der ganzen Gruppe spürbar. Wir wünschen alles Gute für den Ruhestand!

Als Nachfolger wurde sein bisheriger Stellvertreter Dipl.-Ing. Rainer Feucht zum Gruppenleiter bestellt. Präsident Dipl.-Ing. Wernher Hoffmann überreichte das Ernennungssdekret. Feucht setzte u.a. als Verantwortlicher im Projekt VhwHIST die Digitalisierung der historischen Vermessungsurkunden um. Wir wünschen alles Gute und viel Erfolg für die neuen Aufgaben!

Hartwig Ortbauer

Herzliche Gratulation zu einem Jubiläum im Januar 2024 bis März 2024

50. Geburtstag

Heidemarie Zöchling MSc, Prinzersdorf
Dipl.-Ing. (FH) Georg Topf, Wien

60. Geburtstag

Helmut Lindner, Eugendorf

70. Geburtstag

Dipl.-Ing. Hubert Plank, Wien

75. Geburtstag

Dipl.-Ing. Hermann Gspan, Zirl
Dipl.-Ing. Peter Ranak, Wien
Dipl.-Ing. Wolfgang Kainz, Hoheneich

80. Geburtstag

Dipl.-Ing. Udo Weidenthaler, Lienz
Dipl.-Ing. Karl Seywald, Imst
Dipl.-Ing. Hans Tekautz, Linz
Dipl.-Ing. Gerhard Loidolt, Ansfelden

Wir begrüßen als neues Mitglied

Dipl.-Ing. Horst Witte, Salzburg
Dipl.-Ing. Dr. Nina Magnet, Wien

Wir trauern um die Verstorbenen

Dipl.-Ing. Adolf Lehr ist am 19. September 2023 im 97. Lebensjahr verstorben. Er war unter anderem Altbürgermeister von Retz und bis zu seinem Tod das älteste Mitglied der OVG.

Veranstaltungskalender

Mobiles GIS-Forum

11.04. – 12.04.2024 Augsburg, Deutschland
<https://www.rundertischgis.de/veranstaltungen/mobiles-gis-forum/>

EUREF Symposium

05.06. – 07.06.2024 Barcelona, Spanien
https://www.epncb.oma.be/_newseventslinks/calendar.php

EGU General Assembly 2024

14.04. – 19.04.2024 Wien, Österreich
<https://earth.esa.int/eogateway/events/egu-general-assembly-2024>

FOSS4G-Europe

01.07. – 07.07.2024 Tartu, Estland
<https://www.osgeo.org/events/foss4g-europe-2024/>

CLGE General Assembly

19.04. – 20.04.2024 Cavtat, Ungarn
<https://www.clge.eu/event/clge-general-assembly-cavtat-hr-19-20-april-2024#2024-04-19>

GI_Salzburg (AGIT)

03.07. – 03.07.2024 Salzburg, Österreich
<https://gi-salzburg.org/de/>

International Conference on GI Systems (GISTAM)

02.05. – 04.05.2024 Angers, Frankreich
<https://gistam.scitevents.org/Home.aspx>

ESRI USER CONFERENCE

15.07. – 19.07.2024 San Diego, USA
<https://www.esri.com/en-us/about/events/uc/save-date>

Geospatial World Forum

13.05. – 16.05.2024 Rotterdam, Niederlande
<https://geospatialworldforum.org/>

International Conference on Cartography, GIS and Geoinformation

29.07. – 30.07.2024 Wien, Österreich
<https://waset.org/cartography-gis-and-geoinformation-conference-in-july-2024-in-vienna>

Internationales 3D-Forum Lindau

14.05. – 15.05.2024 Lindau, Deutschland
<https://www.rundertischgis.de/veranstaltungen/3d-forum-lindau/>

EuroCarto

09.09. – 11.09.2024 Wien, Österreich
<https://eurocarto2024.org/>

GEOSummit

15.05. – 15.05.2024 Olten, Schweiz
<https://www.geosummit.ch/de/geosummit-kongress-2024.html#>

Innsbruck Summer School of Alpine Research

22.09. – 29.09.2024 Innsbruck, Österreich
<https://www.uibk.ac.at/en/geography/sensing-mountains/2024/>

FIG Working Weeks

19.05. – 24.05.2024 Accra, Ghana
<https://www.fig.net/fig2024/>

INTERGEO

24.09. – 26.09.2024 Stuttgart, Deutschland
<https://www.intergeo.de/>

European Navigation Conference (ENC)

22.05. – 24.05.2024 Noordwijk, Niederlande
<https://enc-series.org/2024/>

Internationale Geodätische Woche Obergurgl

09.02. – 15.02.2025 Obergurgl, Österreich
<https://www.uibk.ac.at/de/geometrie-vermessung/veranstaltungen/>

OVG-Vorträge Sommersemester 2024

Vortragsprogramm Graz

Veranstaltungsort:

TU Graz, Institut für Geodäsie

Seminarraum AE06, ST EG 050, Steyrergasse 30, 8010 Graz

- Mittwoch, „Neue kartographische Services und Produkte des BEV“**
17. April 2024 *Klaus FREITAG, Philipp MITTERSCHIFFTHALER*
17 Uhr 15 *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen*
- Mittwoch, „Building Information Modeling (BIM) in der ÖBB Infrastruktur AG“**
22. Mai 2024 *Ewald GRIESSER*
17 Uhr 15 *ÖBB Infrastruktur AG*
- Mittwoch, „Hydrogeodäsie: Zur Quantifizierung des kontinentalen Wasserhaushalts mittels geodätischer Satelliten“**
12. Juni 2024 *Nico SNEEUW*
17 Uhr 15 *Universität Stuttgart*

Vortragsprogramm Innsbruck

Veranstaltungsort:

Universität Innsbruck

Hörsaal B6, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck

Email: geometrie-vermessung@uibk.ac.at

- Mittwoch, „Dynamisches Brückenmonitoring mit geodätischen und faseroptischen Sensoren“**
17. April 2024 *Prof. Dr. Werner LIENHART*
18 Uhr 15 *Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme, TU Graz*
- Mittwoch, „Der elektronische Flächenwidmungsplan Tirol“**
15. Mai 2024 *Mag. Johann NIEDERTSCHEIDER*
18 Uhr 15 *Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Raumordnung und Statistik*
- Mittwoch, „Total vermessen? – oder warum muss das Liegenschaftskataster berichtigt werden?“**
12. Juni 2024 *DI Martin GIESE*
18 Uhr 15 *Erfahrungsbericht der unteren Vermessungsbehörde Dresden“*
Landeshauptstadt Dresden, Abt. Liegenschaftskataster

Austrian histMap maps.bev.gv.at

ZEITREISE



Karte
heute



Orthofoto
heute



histMap
1880



histMap
1910



histMap
1930



histMap
1960



histMap
1980




histMap
2000



histMap
2010

bev.gv.at

 Bundesamt
für Eich- und
Vermessungswesen

In der Kartographie ist in den letzten hundert Jahren richtig viel passiert und diese Geschichte wollen wir jetzt sichtbar machen.

Erleben sie in acht unterschiedlichen Epochen ein Stück der Geschichte Österreichs. maps.bev.gv.at

