

vgj

Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation

Leica
Geosystems

Leica GS18 I

Die Macht der Bilder nutzen.

Einmal erfassen.
Jedes Detail jederzeit messen.

PART OF
HEXAGON



Die Erde im Anthropozän: Der Blick aus dem Weltall mit Sentinel-1

W. Wagner

Digitaler geoZwilling – Datenmodell für ein virtuelles Abbild der Stadt Wien

H. Lehner, S. L. Kordasch, Ch. Glatz, G. Agugiaro



BEV - Austrian Map online

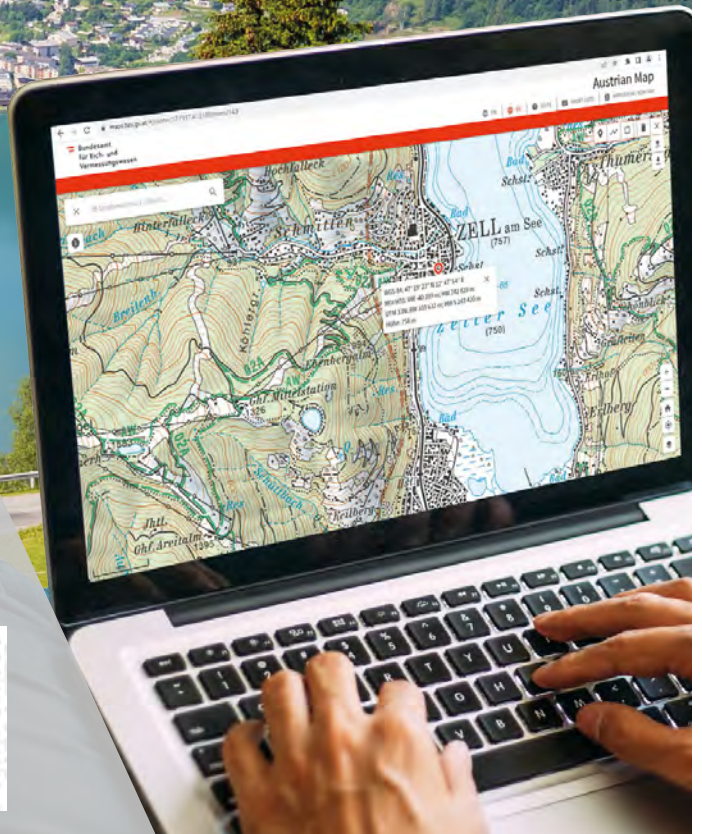
präzise, aktuell, kostenlos

bev.gv.at

Neu:

- Original BEV-Luftbilder
- Routen mit .gpx und .json
- umfangreiche Suchfunktion

maps.bev.gv.at





Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation

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

110. Jahrgang 2022

Heft: 3/2022

ISSN: 1605-1653

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Andreas Pammer

Stellvertreter: Dipl.-Ing. Ernst Zahn

Dipl.-Ing. (FH) Georg Topf

A-1020 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

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

<i>F. Blauensteiner: Verleihung der Friedrich Hopfner Medaille 2022 an Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner</i>	127
<i>N. Pfeifer: Laudatio auf Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner anlässlich der Überreichung der Friedrich-Hopfner-Medaille 2022</i>	128
<i>W. Wagner:</i> Die Erde im Anthropozän: Der Blick aus dem Weltall mit Sentinel-1	130
<i>H. Lehner, S. L. Kordasch, Ch. Glatz, G. Agugiaro:</i> Digitaler geoZwilling – Datenmodell für ein virtuelles Abbild der Stadt Wien	138
Dissertationen, Diplom- und Magisterarbeiten	168
Recht und Gesetz	173
Internationales	175
Tagungsberichte	177
Grenzstein	181
Aus dem Vereinsleben	183
Buchbesprechungen	188
Neuerscheinungen	191
Veranstaltungskalender	192



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

110. Jahrgang 2022 / ISSN: 1605-1653

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Offenlegung gem. § 25 Mediengesetz

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

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

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



<http://www.ovg.at>



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

Vorwort und Laudatio

Verleihung der Friedrich Hopfner Medaille 2022 an Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner



Verleihung der Friedrich Hopfner Medaille: v.l.n.r. Sabine Seidler, Wolfgang Wagner, Werner Lienhart, Wernher Hoffmann und Norbert Pfeifer

In Würdigung der Verdienste Friedrich Hopfners, Professor für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien (1934-1949), um die Internationale Erdmessung verleiht die Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) die Friedrich Hopfner-Medaille für hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der Geodäsie. Es handelt sich um die höchste Auszeichnung der Geodäsie in Österreich, die alle 4 Jahre vergeben werden kann. In der Sitzung der ÖGK am 26. April 2022 wurde von der Kommission beschlossen, die Friedrich Hopfner-Medaille 2022 an Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner von der TU Wien zu verleihen.

Die festliche Überreichung der Medaille fand am 3. Oktober 2022 im Rahmen der 10-Jahresfeier des Departments für Geodäsie und Geoinformation der TU Wien im TUtheSky statt. Höhepunkte der Veranstaltung waren die Laudatio, gehalten von Univ.-Prof. Dr. Norbert Pfeifer von der TU Wien, sowie die Verleihung der Medaille durch den Präsidenten der Österreichischen Geodätischen Kommission Univ.-Prof. Dr. Werner Lienhart und den Präsidenten des BEV DI Wernher Hoffmann als Sponsor der Medaille. Unter den Gratulant:innen war auch die Rektorin der TU Wien Univ.-Prof. Dr.ⁱⁿ Sabine Seidler. Im Anschluss an die Verleihung der Medaille hielt Wolfgang Wagner seinen Festvortrag mit dem Titel *Die Erde im Anthropozän: Der Blick aus dem Weltall mit Sentinel-1*.

Wolfgang Wagner erhält die Friedrich Hopfner Medaille für seine Leistungen im Bereich der Erdbeobachtung. Wagners Errungenschaften bei raumbezogenen Daten der Fernerkundung sind international führend und richtungsweisend. Das spiegelt sich unter anderem durch die Vielzahl an Publikationen und Zitierungen wider. So ist Wolfgang Wagner Highly Cited Researcher 2018-2021 von Clarivate Analytics, und Google Scholar weist beispielsweise mehr als 26.000 Zitierungen von ihm aus. Darüber hinaus koordinierte er über mehrere Jahre das Christian Doppler Labor für *Spatial Data from Laser Scanning and Remote Sensing* und war Gründer des *Earth Observation Data Centre for Water Resources Monitoring (EODC)*. Neben seinen herausragenden wissenschaftlichen Leistungen engagiert er sich auch in der Universitätsleitung – Wolfgang Wagner ist seit 2020 Dekan der Fakultät für Mathematik und Geoinformation der TU Wien.

Wolfgang Wagner reiht sich würdig in die Liste der bisherigen Preisträger ein (Prof. Dr. Karl Killian 1978, Prof. Dr. Karl Ramsayer 1982, Prof. Dr. Hellmut Schmid 1986, Prof. Dr. Fritz Brunner 1990, Prof. Dr. Heinrich Ebner 1998, Prof. Dr. Thomas Wunderlich 2002, Prof. Dr. Manfred Buchroithner 2010, Prof. Dr. Franz Leberl 2014 und Prof. Dr. Robert Weber 2018).

Laudatio auf Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner anlässlich der Überreichung der Friedrich-Hopfner-Medaille 2022

Sehr geehrte Präsidentinnen und Präsidenten,
liebe Kolleginnen und Kollegen in der ÖGK, der OVG und dem BEV,

liebe Angehörige und Absolvent:innen der Technischen Universität Wien,

liebe Petra, stellvertretend für alle Angehörigen und Freundinnen und Freunde von Wolfgang,

gerne habe ich die ehrenvolle Aufgabe übernommen eine Lobrede, eine ehrende Rede für Wolfgang Wagner zu halten.

Gehen wir in der Zeit etwas zurück, so bemerken wir die lange Tradition des Vermessungswesens und der Geodäsie an der TU Wien, die auf die Gründung einer Lehrkanzel für „Praktische Geometrie“ im Jahr 1818 und einer für „Höhere Geodäsie“ im Jahr 1866 zurückgeht. Christian Doppler war Professor für Praktische Geometrie, aber das nur nebenbei.

Heute verleiht die ÖGK die Friedrich-Hopfner-Medaille an eine Person, die – den Statuten gemäß – hervorragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Geodäsie erbracht hat. Die Statuten schlagen vor, dass dies Österreicher oder Österreicherinnen sein sollen, die aber nicht Mitglieder der Österreichischen Geodätischen Kommission sind. Das können also einerseits Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sein, die ihre wissenschaftlichen Leistungen im Ausland vollbracht haben, oder Personen in Österreich, die entweder keine Professur haben und damit nicht Mitglieder der ÖGK sind (der Preisträger der letzten Runde ist so ein besonders verdienter Fall) oder Personen, die zwar Professor oder Professorin sind, aber sozusagen heimliche Geodätinnen und Geodäten, weil sie eben nicht in der ÖGK sind. Das trifft auf Wolfgang Wagner zu.

Aber bevor wir auf diesen heimlichen Geodäten eingehen noch kurz ein Wort zu Friedrich Hopfner, der tatsächlich ein Vorbild sein kann. Hopfner war Professor für Höhere Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien von 1936 bis 1949, tragischer Weise ist er bei einem Unfall ums Leben gekommen. Ein paar weitere Daten sollen noch hervorgehoben werden: Hopfners Dissertation befasste sich mit der Verteilung der Temperatur auf der Erdoberfläche; Hopfner selbst war Physiker, Mathematiker und Astronom. Er arbeitete

als Chefastronom am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und kollaborierte mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Zuletzt möchte ich hervorheben, dass Hopfner ab 1939 nicht an der Technischen Hochschule angestellt war, aber 1945 sofort wieder berufen wurde.

Jetzt wenden wir uns aber endlich Wolfgang Wagner zu. In seiner Familie wuchs er ab 1969 in Oberösterreich auf, absolvierte eine Elektrotechnik-HTL und kam Ende der 80er-Jahre nach Wien um an der TU Physik zu studieren. Schon im Zuge seines Studiums und seiner Diplomarbeit zog es ihn in die weite Welt, an die Universität Bern einerseits und zum Atmospheric Environment Service Canada. Damals begann bereits die Beschäftigung mit aktiver Mikrowellen-Fernerkundung. Das Studium schloss er übrigens mit Auszeichnung ab, genauso wie das Doktorat, das er am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, geleitet von Professor Kraus, erwarb. Im Zuge der Dissertation war er am JRC, bei ESA und NASA – und nach dem Doktorat bei der DLR. An diesen Stationen, dem Joint Research Center der Europäischen Union, und der europäischen, der amerikanischen und der deutschen Raumfahrtbehörde, kann man schon erkennen, dass es für Wolfgang Wagner immer nur einen Weg gegeben hat, nämlich immer weiter. Natürlich bedeutet das einerseits weiter hinauf, aber besonders auch weiter lernen und den Horizont öffnen.

Damit hat Wolfgang Wagner nicht nur eine ausgezeichnete wissenschaftliche Schulung durchlaufen, sondern auch eine unternehmerische. Ich möchte der unternehmerischen Komponente nicht dasselbe Gewicht wie der Wissenschaft geben, aber dass „wir“ Wissenschaft für die Gesellschaft betreiben, sowohl in Form von Unternehmen als auch der Öffentlichkeit, hat Wolfgang Wagner schon sehr früh aufgesogen. Ich kann mich an mein erstes Gespräch mit dir, Wolfgang, erinnern, damals beim Mittagessen im Buffet im neuen EI (Elektrotechnikinstitut) in der Gußhausstraße. Da ging es um Erntevorhersagen und Hunger auf der Welt. In einem zweiten Gespräch hast du mir vorgeschlagen, dass ich mich an die NASA wenden soll, mit dem Vorschlag Untersuchungen zu ICESat (Satellit, der Lidar-Beobachtungen der Erdoberfläche durchführt) über den Alpen zu machen. Das habe ich mir damals natürlich nicht

zugetraut. Ganz anerkennend muss ich seitdem im Rückblick feststellen, dass du immer einen großen Schritt voraus bist, dass du mir immer einen großen Schritt voraus bist.

Im Jahre 2001 kehrte Wolfgang Wagner an die TU zurück und wurde Professor für Fernerkundung, wobei du, Wolfgang, dort deine eigene Gruppe aufgebaut hast mit bemerkenswerten Absolvent:innen. Besonders hervorzuheben ist der erste Datensatz 2002 zur globalen Bodenfeuchte. Dann wurde Wolfgang Wagner Leiter des sehr erfolgreichen Christian-Doppler-Labor für „Spatial data from laser scanning and remote sensing“ sowie Leiter des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung, dem er durch Beharrlichkeit, Vorbild und Engagement eine stärker wissenschaftliche und aktiv publizierende Richtung gegeben hat. Dies war keine Abkehr von Bewährtem, sondern hat zu einem breiteren Verständnis von Wissenschaft und der Art Wissenschaft zu betreiben geführt. Hier ist zu erwähnen, dass die TU Wien die beste Disziplinen-Wertung im Shanghai-Ranking in der Fernerkundung innehat. An der Stelle ist es passend zu erwähnen, dass Wolfgang Wagner, auch einer der sehr wenigen „highly cited researchers“ der TU Wien ist. Der h-Index von 88 ist ein weiterer Beleg dieser Sichtbarkeit und des Einflusses auf die Wissenschaft. Du, Wolfgang, bist also wahrlich eine in der internationalen Wissenschaft besonders sichtbare Person. Natürlich geht das auf die globalen Datensätze zur Bodenfeuchte aus der Mikrowellen-Fernerkundung zurück, wobei du dieses Thema nicht nur vertieft sondern in ganz vielfältiger Weise auch verbreitert hast, z.B. auch über Eumetsat. Mit der Gründung des EODC, die auf deiner Initiative beruht, hast du auch die Zusammenarbeit an Geodaten weiterentwickelt. Im „Earth Observation Data Center for Water Resources Monitoring GmbH“ werden die Sentinel-Daten gemeinsam zwischen Universitäten und Firmen verarbeitet und Ergebnisse aufbereitet, global, permanent. Damit werden nicht nur

globale Katastrophen verfolgt, wie beispielsweise die aktuelle Flut in Pakistan, sondern eben klimatische Untersuchungen zur globalen, dynamischen Bodenfeuchte durchgeführt und die kontinentale Hydrologie und eben Klimafolgen erfasst.

Aber das sind noch immer nicht alle Meilensteine. Du warst Kommissions-Präsident der ISPRS und hast auch dort Veränderungen angestoßen und sehr stark unterstützt; zu erwähnen sind hier das Journal „Remote Sensing“ - du bist Gründungs-Editor - und in Folge dann auch das ISPRS International Journal of Geoinformation. Die Journale leben in unserer wissenschaftlichen Tradition, aber gerade auch in der beständigen kritischen Hinterfragung, wie wir Wissenschaft betreiben, gehst du voran, z.B. die FAIR-Prinzipien für Daten-Veröffentlichung, und setzt das um. In der Lehre werden die großen Datensätze den Studierenden in einfach handhabbarer Weise zur Verfügung gestellt, durch die Jupyter-Notebooks, und so ist es natürlich ganz klar, dass du irgendwann Dekan werden musstest. Hopfner war übrigens auch Dekan der Fakultät für Angewandte Mathematik und Physik, aber Hopfner wurde später auch Rektor.

Jetzt soll es genug der Aufzählungen sein, auch wenn es noch nicht komplett ist, weil beispielsweise die ISPRS Fred Doyle Medaille, die von der Amerikanischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vergeben wird, oder die Leitung des FFG-Beirats für Luft- und Raumfahrt fehlen.

Wolfgang, ich bewundere deine Art, Veränderungen auf ruhige angebot-getriebene Weise, sehr menschlich, herbeizuführen. Du wirst geschätzt von deinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, auch wenn sie sich oft etwas mehr Zeit von dir wünschen. Du förderst alle um dich, aber du hast auch sehr klare Vorstellungen wo du hinwillst. Wir sind alle gespannt!

Norbert Pfeifer



Die Erde im Anthropozän: Der Blick aus dem Weltall mit Sentinel-1

Earth in the Anthropocene: The View from Space with Sentinel-1

Wolfgang Wagner, Wien

Kurzfassung

Sentinel-1 ist eine Konstellation von Erdbeobachtungssatelliten, die mittels Radarsensoren die Erdoberfläche unabhängig von Wetter und Sichtverhältnissen kontinuierlich beobachtet. Damit können dynamische Veränderungen der Erdoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 20 m erfasst werden. Globale Auswertungen der Sentinel-1 Daten illustrieren, wie sehr die Menschheit die Landoberfläche bereits nach ihren Bedürfnissen umgestaltet hat. Ebenso dokumentieren sie das Ausmaß klimatischer Extremereignisse wie Dürren und Fluten. In diesem Beitrag gebe ich einen Überblick über die an der TU Wien durchgeführten Forschungsarbeiten zur Nutzung von Sentinel-1 für die Beobachtung der Landoberfläche und klimatischer Extremereignisse wie beispielsweise die im Sommer 2022 aufgetretene Dürre in Europa und die verheerenden Überflutungen in Pakistan.

Schlüsselwörter: Erdbeobachtung, Satelliten, Radar, Landnutzung, Klimawandel, Wasser, Vegetation, Bodenfeuchtigkeit

Abstract

Sentinel-1 is a satellite constellation that uses radar sensors to observe the Earth's surface day and night under all weather conditions. This allows monitoring dynamic changes of the Earth's land surface at a spatial resolution of 20 m. A worldwide Sentinel-1 image mosaic illustrates how strongly humanity has already transformed the continental land surface areas according to its needs. Sentinel-1 also helps documenting the severity of climate extremes such as droughts and flooding. In this article, I review research which has been carried out at TU Wien to use Sentinel-1 data for the monitoring of soil, vegetation and inland water, showing some results for summer 2002 when European was plagued by drought conditions and Pakistan hit by devastating flooding.

Keywords: Earth observation, satellites, radar, land use, climate change, water, vegetation, soil moisture

1. Einleitung

Obwohl das Anthropozän noch nicht offiziell als geologisches Zeitalter anerkannt ist, so hat der im Jahr 2002 vom Nobelpreisträger Paul Crutzen im Wissenschaftsjournal *Nature* [1] eingeführte Begriff bereits breite Popularität erlangt. Er drückt nichts anderes aus, als dass der Mensch zur alles dominierenden Kraft von Veränderungen auf der Erde geworden ist. Als Indikator für den Beginn dieser neuen Ära bietet sich der atmosphärische Kohlendioxidgehalt an [2], der von dem vorindustriellen Wert von ca. 280 ppm auf bereits über 410 ppm angestiegen ist und trotz aller Krisen der letzten Jahren ungebrochen zunimmt [3]. Dieser Anstieg ist nicht nur das Resultat der Verbrennung fossiler Brennstoffe, sondern auch Folge industrieller Prozesse und der intensiven Landnutzung. Der CO₂ Gehalt fasst damit gut zusammen, wie sehr die Menschheit bereits in alle natürlichen Prozesse auf der Erde eingegriffen hat.

Schon Jäger- und Sammlergesellschaften beeinflussten durch die Jagd und das Legen von Feuer die Landschaftsentwicklung, und spä-

testens mit Beginn der Landwirtschaft und der Rodung von Wäldern wird das Antlitz der Erde vom Menschen bewusst gestaltet [4]. Die von der Menschheit verursachten Veränderungen können seit dem Start der ersten Erdbeobachtungssatelliten in den 1960er und 1970er Jahren auf globaler Ebene dokumentiert werden und zeichnen ein Bild des raschen Wachstums urbaner Regionen und der Ausbreitung landwirtschaftlicher Flächen bis in die entlegensten Regionen. Überraschenderweise hat, global gesehen, die Waldfläche in den letzten Jahrzehnten zu- statt abgenommen, wobei die Verluste von Regenwald mit dem Zuwachs von Wald in höheren Breitengraden ausgeglichen wurden [5].

Auch wenn das globale Bevölkerungswachstum sich nun verlangsamt und es gelingen sollte den Ressourcenverbrauch pro Kopf zu reduzieren, so wird sich auch im 21. Jahrhundert die Landoberfläche drastisch verändern. Tatsächlich dürfte der Bedarf nach mehr Land die verfügbaren Flächen bei weitem übersteigen [6]. Neben der weiteren Expansion urbaner und landwirtschaftlicher Flä-

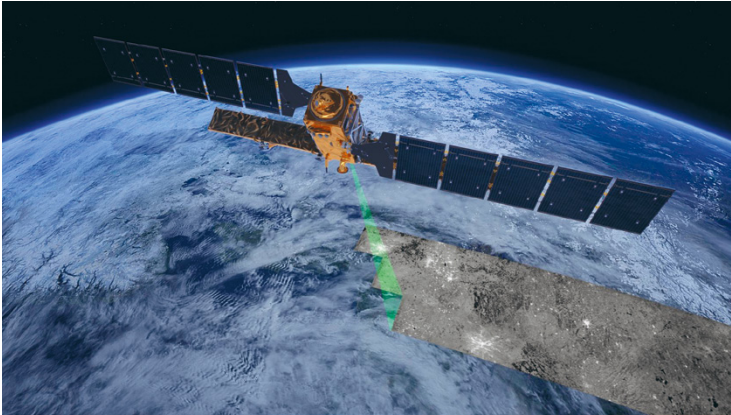


Abb. 1: Aufnahme der Erdoberfläche durch den Radarsatelliten Sentinel-1 (Copyright ESA). Die im Bild gezeigten Radardaten wurden an der TU Wien berechnet [15].

Atmosphäre, der Ozeane und der Landoberfläche bereitstellt. Der erste Copernicus Satellit war der im Jahre 2014 gestartete Sentinel-1A Satellit [14], der seitdem mithilfe eines Radarsensors die Erdoberfläche zu jeder Witterung und auch nachts beobachtet (Abbildung 1). Ein zweiter identer Satellit, Sentinel-1B, wurde 2016 gestartet, musste aber leider aufgrund eines Sensordefekts bereits 2022 wieder außer Dienst genommen werden. Die dadurch entstandene Lücke wird durch den Start von Sentinel-1C im Frühjahr 2023 geschlossen.

chen ist dies u.a. durch den notwendigen Ausbau erneuerbarer Energien bedingt, die pro erzeugter Energieeinheit deutlich mehr Fläche als fossile Energieträger benötigen [7]. Des Weiteren muss dringend Land für den Schutz von Biodiversität, der Sequestrierung von Kohlenstoff und für die Bekämpfung der Folgen des Klimawandels gewidmet werden [6]. All dies vor dem Hintergrund, dass die bisher ungebremste Klimaerwärmung deutliche Spuren hinterlassen wird, sei es ob Wälder durch Feuer oder Borkenkäfer großflächig geschädigt werden [8, 9], Gletscher verschwinden [10] oder Fluten ganze Flusslandschaften neu gestalten [11].

Die sich daraus ergebenden Herausforderungen sind nur dann zu bewältigen, wenn der Zustand der Erdoberfläche anhand von Messdaten umfassend charakterisiert werden kann, um u.a. Szenarien für eine nachhaltige Entwicklung durchspielen zu können. Die Verbesserung der Datenerfassung muss Hand in Hand mit der Entwicklung einer neuen Generation von Erdsystemmodellen gehen, um die Daten bestmöglich nutzen zu können [12]. Aktuell wird die Entwicklung solcher Systeme unter dem Schlagwort „Digitale Zwillinge“ vorangetrieben [13].

Dank bedeutender öffentlicher Investitionen in den Aufbau von Satellitenkonstellationen für die zivile Erdbeobachtung und der Öffnung des Datenzugangs findet gerade eine Revolution in der Nutzung von Satellitendaten statt. In Europa spielt dabei das „Copernicus programme“ eine herausragende Rolle, das mit seiner Flotte von Sentinel Satelliten wertvolle Dienste zur Überwachung der

In diesem Artikel möchte ich einen Überblick über die an der TU Wien stattfindende Forschung zur Verwendung von Sentinel-1 Daten für die Beobachtung der Landoberfläche geben. Dank der globalen Abdeckung und der guten räumlichen und zeitlichen Auflösung eignen sich die Sentinel-1 Daten nicht nur für die Dokumentation des Zustands der Landoberfläche sondern auch für die Erfassung hoch dynamischer Prozesse wie Überflutungen, Vegetationswachstum oder Schwankungen im Wassergehalt des Bodens. Dafür ist eine aufwändige Datenvorverarbeitung notwendig, wie ich sie im folgenden Abschnitt beschreiben möchte.

2. Datenaufbereitung

Die Sentinel-1 Satelliten sind ganz auf den Betrieb eines einzigen Sensors, eines Seitensichtradars mit synthetischer Apertur (auf Englisch „Synthetic Aperture Radar“ oder kurz SAR) hin optimiert. Damit wird eine bestmögliche globale Abdeckung mit einer räumlichen Auflösung der SAR Bilder von ca. 20 m erreicht. Europa wird bevorzugt aufgenommen, weshalb beim Betrieb von zwei Satelliten in Durchschnitt alle 2-3 Tage mit einer SAR Aufnahme zu rechnen ist. Global bewegt sich die Wiederholrate zwischen 6 und 12 Tagen. Die dabei aufgenommenen Datenmengen sind gewaltig. Ein mit dem über Land verwendeten „Interferometric Wide Swath“ Mode aufgenommenes SAR Bild deckt eine Fläche von 250 km × 160 km ab und hat dargestellt als Rückstreuintensitätsbild eine Größe von ca. 1 Gigabyte. Das pro Tag von zwei Satelliten aufgenommene Datenvolumen beträgt

mehr als 1 Terabyte, was bedeutet, dass die über die Laufzeit der Mission erzeugte Datenmenge im mehrstelligen Petabyte-Bereich liegt [16].

Solch große Datenmengen benötigen eine hochleistungsfähige IT Infrastruktur und eine aufwändige Datenaufbereitung, um von der guten räumlichen und zeitlichen Abdeckung profitieren zu können. Da diese Aufgabe die Möglichkeiten einer einzelnen Universität übersteigt hat die TU Wien gemeinsam mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und anderen Partnern das EODC Erdbeobachtungsdatenzentrum (<https://eodc.eu/>) gegründet [17]. Durch diese Kooperation ist es gelungen, Petabyte-große Speichersysteme aufzubauen und mit den Supercomputern des Vienna Scientific Clusters (<https://vsc.ac.at/>) zu verbinden. Mit Hilfe dieser Infrastruktur konnte ein globaler Sentinel-1 Datacube mit einer Rasterweite von 20 m erstellt werden, der räumliche als auch zeitliche Datenabfragen gleichermaßen ermöglicht [16]. Der Zugriff auf die als GeoTIFFs abgespeicherten Sentinel-1 Szenen ist mit Open Source Software und eigens programmierten Application Programming Interfaces (APIs) möglich [18, 19]. Für die kartographische Projektion und die Definition eines globalen Grids wurde die Erde in sieben kontinentale Zonen unterteilt [20]. Die Georeferenzierung erfolgte mit Hilfe des globalen 30 m Copernicus Geländemodells, wobei bisher aufgrund der langen Rechendauer nur geometrische aber nicht radiometrische Effekte berücksichtigt wurden. Das stellt speziell im Gebirge und Hügellandschaften ein Problem dar. Mittels Näherungsverfahren, die sich die hohe Stabilität der Sentinel-1 Orbits zugute machen [21], sollte es möglich sein die Datenvorverarbeitung auf den CEOS Standard für Analysis Ready Data (<https://ceos.org/ard/>) umzustellen. Dies hätte vor allem Vorteile bei der Verwendung der Sentinel-1 Daten in mittleren Höhenlagen [22].

3. Bildmosaike

Basierend auf dem Sentinel-1 Datacube können großflächige Radarbilder durch die Mittelung von Radarmessungen über vorgegebene Zeiträume erzeugt werden. Über Land nimmt Sentinel-1 in zwei Polarisationskombinationen auf, nämlich in VV und VH. Der

erste Buchstabe steht dabei für die Polarisation der ausgesandten elektromagnetischen Welle, d.h. in beiden Fällen eine vertikal polarisierte Welle (V). Der zweite Buchstabe gibt Auskunft über die Stärke der empfangenen Welle in vertikaler (V) oder horizontaler (H) Polarisation. Während im VV Kanal demnach die Polarisationsrichtung erhalten bleibt, erfasst der VH Kanal die gedrehte Komponente der Welle. Der VH Kanal ist daher besonders empfindlich gegenüber der geometrischen Anordnung der Streuobjekte, da nur komplex strukturierte Objekte wie Bäume oder Gebäude in der Lage sind, einen großen Teil der einfallenden Welle zu drehen. Deshalb erlauben Falschfarbenbilder, die unterschiedliche Kombinationen dieser beiden Messungen zeigen, eine Differenzierung vergleichsweise glatter Flächen wie Asphalt oder Wasserflächen von vergleichsweise komplexen Streuern wie hohe Vegetation oder Gebäuden (Abbildung 2).

Das meines Wissens nach erste globale SAR Mosaik wurde im Jahr 2012 an der TU Wien im Auftrag der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA in Vorbereitung auf den Betrieb der Sentinel-1 Satelliten erstellt. Dieses hatte eine grobe räumliche Auflösung von 1 km und wurde anhand von ca. 110 000 SAR Szenen, aufgenommen durch den ENVISAT Satelliten, erzeugt [15]. Basierend auf Sentinel-1 Aufnahmen aus den Jahren 2016 und 2017 ist es uns in einem weiteren von der ESA finanzierten Projekt gelungen ein globales SAR Mosaik bei einer räumlichen Auflösung von 10 m

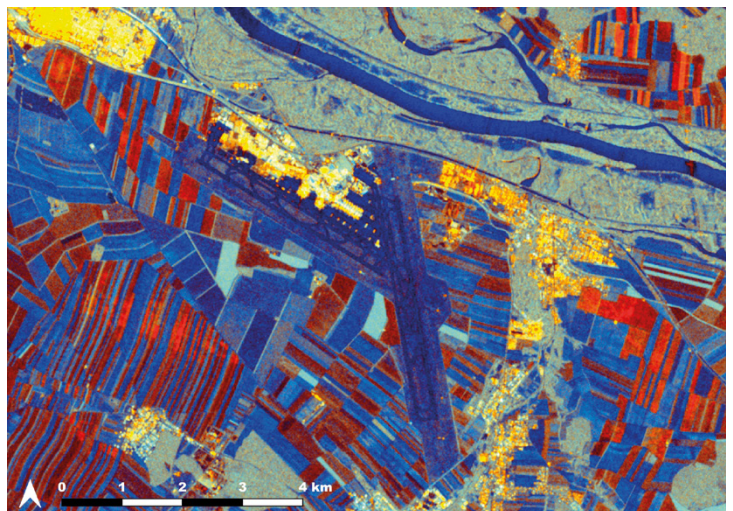


Abb. 2: Falschfarbenbild (Rot: VV Polarisation, Grün: VH Polarisation, Blau: VH/VV) für die Region rund um den Flughafen Wien basierend auf Sentinel-1 Mittelwertbilder für den Monat Mai 2019



Abb. 3: Visualisierung eines globalen Sentinel-1 Rückstreumodells auf <https://s1map.eodc.eu/>

in beiden Polarisationen (VV und VH) zu erstellen [23]. Dafür wurden am VSC an die 500 000 Sentinel-1 Szenen aus dem EODC Datenarchiv verarbeitet und so aufbereitet, dass Streifenmuster aufgrund der Sentinel-1 Orbits so weit als möglich reduziert wurden. Die Daten können vom TU Datenrepositorium frei bezogen werden [24]. Auf globaler Ebene spiegelt die in Abbildung 3 gezeigte Visualisierung des Sentinel-1 Mosaiks vor allem Unterschiede aufgrund der Vegetation wieder. Die niedrigsten Rückstreuwerte über Land sind in Sandwüsten zu finden, da die Radarpulse tief in den Sand eindringen können und dort absorbiert werden. Die höchsten Werte findet man über tropischen Regenwäldern bzw. über rauen Gesteinsoberflächen. Je mehr man in das Mosaik hineinzoomt, umso deutlicher treten die anthropogenen Veränderungen hervor: Zuerst die großen urbanen Zentren, dann landwirtschaftliche Strukturen und Bewässerungssysteme und zum Schluss sogar einzelne Infrastrukturanlagen wie Hochspannungsleitungen oder Windräder.

4. Vegetation

Wie bereits oben erwähnt hängt die von Sentinel-1 gemessene Rückstreuung von der Vegetation ab. Aufgrund der komplexen Interaktionsmechanismen der Radarpulse mit der Vegetation und Sättigungseffekten bei höheren Biomasseniveaus ist es aber leider schwierig, nur anhand einzelner SAR Bilder quantitative Zusammenhänge zu Vegetationsgrößen wie Baumhöhen, Stammvolumen, Biomasse oder Vegetationswassergehalt herzustellen [25, 26]. Vielversprechender sind Ansätze, die anhand der Dynamik der SAR Zeitreihen die Phänologie der Vegetation abbilden [27]. So wirkt sich zum Beispiel der jahreszeitliche

Wechsel auf die Rückstreuung von Nadel- und Laubwald sehr unterschiedlich aus. Während die Rückstreuung über Nadelwald im Frühjahr mit dem Wachstum neuer Triebe wie erwartet zunimmt, sinkt sie über Laubwald [28]. Der Grund dafür liegt in der sehr starken Rückstreuung durch Äste und Zweige, die durch das Wachsen neuer Blätter deutlich gedämpft wird. Durch Ausnutzen dieses Effekts ist es Dostálová et al. [29] gelungen, Nadel- und Laubwald für ganz Europa nur anhand von Sentinel-1 Zeitreihen zu kartieren.

SAR Zeitserienanalysen sind auch in der Landwirtschaft von höchstem Nutzen. So eignet sich zum Beispiel die Polarisationsratio VH/HH sehr gut für die Erfassung der Phänologie landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und deren Wassergehalt [31]. Dank moderner Verfahren der Künstlichen Intelligenz und frei zur Verfügung stehender landwirtschaftlicher Daten können auch noch relativ kleine Unterschiede in den Rückstreueigenschaften verschiedener Pflanzen erkannt werden [30]. Damit ist es möglich, verschiedene Getreidesorten und andere Nutzpflanzen großflächig zu kartieren (Abbildung 4). Von speziell großem Nutzen sind die Sentinel-1 Daten für die Erfassung von Reis-anbauflächen. Dies liegt daran, dass bei einem nassen Anbau das Radarsignal über den Wachstumszyklus sehr stark nach einem bekannten zeitlichen Muster variiert [32]. Sind für verschiedene Regionen die ungefähren Zeiträume für die Aussaat bekannt, so ist es möglich Reisflächen über viele Regionen und Länder hinweg automatisch zu klassifizieren [33].

5. Überflutungen und Feuchtgebiete

Die Rückstreuung von offenen Wasserflächen ist in der Regel sehr niedrig. Der Grund liegt darin, dass eine glatte Wasseroberfläche die vom SAR Sensor kommenden Mikrowellenpulse wie ein Spiegel nach vorne reflektiert und somit keine Strahlung zum Sensor zurück gestreut wird. Deshalb heben sich Wasserkörper in Sentinel-1 Bildern in der Regel gut vom umliegenden Land ab. Fehlklassifikationen können aber auftreten, wenn durch Wind verursachte Wellen die Rückstreuung über Wasser erhöhen oder wenn die Rückstreuung von umliegenden Flächen sehr niedrig ist, wie dies über Sandwüsten und Asphaltflächen der Fall



Abb. 4: Beispiel für eine Klassifikation landwirtschaftlicher Flächen basierend auf Sentinel-1 Zeitserien mittels eines Neuronalen Netzwerkes [30]

sein kann [34]. Des Weiteren sind Wasserflächen in Städten und dichter Vegetation oft schwer oder gar nicht zu erkennen. Nichtsdestotrotz eignet sich Sentinel-1 speziell für die rasche Dokumentation von Überflutungsflächen [35]. Seit Ende 2021 verwendet das Copernicus Emergency Management Service die Sentinel-1 Aufnahmen zur vollständig automatischen Erfassung von Flutereignissen weltweit. Einer der dabei eingesetzten Algorithmen wurde von der TU Wien entwickelt [36, 37]. Mit Hilfe dieses operationellen Service konnte das Ausmaß der verheerenden Flut in Pakistan 2022 dokumentiert werden (Abbildung 5).

Während Pakistan unter der Flut litt, war es im Sommer 2022 in vielen Teilen Europas zu trocken. So erreichte der Neusiedler See seinen tiefsten Wasserstand seit Beginn der Aufzeichnungen

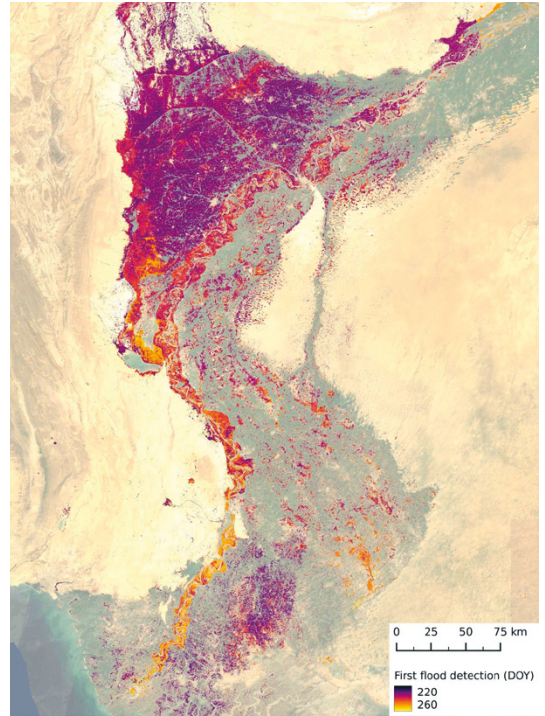


Abb. 5: Im August und September 2022 wurde in Pakistan eine Fläche von über 30 000 km² überflutet [38]. Die Abbildung zeigt das durch Sentinel-1 erfasste Fortschreiten der Flut (DOY = Day of Year).

1965. Wie das in Abbildung 6 gezeigte Sentinel-1 Falschfarbenbild dokumentiert, sind große Flächen im Schilfgürtel und Teile der Lacken ausgetrocknet. Diese Flächen erkennt man an den roten

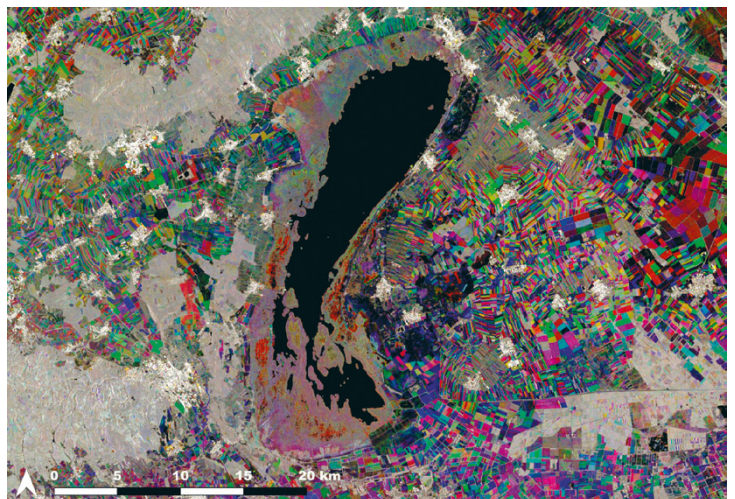


Abb. 6: Sentinel-1 Falschfarbenbild basierend auf Mittelwerten der VH Rückstreumessungen für die Monate Juli 2022 (Rot), Juli 2019 (grün) und Juli 2015 (Blau)

Tönen, die anzeigen wo sich 2022 das Wasser im Vergleich zu den beiden nasser Jahren 2019 und 2015 zurückgezogen hat. Dieses Beispiel illustriert wie Sentinel-1 zur Beobachtung von Nass- und Trockenphasen in Feuchtgebieten eingesetzt werden kann. Wie bereits Schläffer et al. [39] für drei Feuchtgebiete in Sambia gezeigt hat, können damit funktional unterschiedliche Feuchtlandzonen unterschieden werden.

6. Bodenfeuchtigkeit

Sentinel-1 arbeitet bei einer Frequenz von 5.4 GHz (C-Band), bei der flüssiges Wasser aufgrund des permanenten Dipolmoments von Wassermolekülen besondere Absorptions- und Reflexionseigenschaften zeigt. Daher erhöht sich im Regelfall die von Sentinel-1 gemessene Rückstreuung je mehr Wasser sich im Boden befindet. Die Ausnahme bilden trockene und sandige Böden, in die das Signal tief eindringt und auf Fels oder Steine trifft, was bei einer zunehmenden Austrocknung der Böden den Rückstreukoeffizienten erhöhen kann [40, 41]. Um die Bodenfeuchtigkeit aus den SAR Daten abzuschätzen muss man aber noch weitere Einflussgrößen auf das Signal berücksichtigen, allen voran die Rauigkeit der Bodenoberfläche und die Vegetation. Für die Beschreibung all dieser Faktoren werden in der Regel Strahlungstransportmodelle verwendet, die einen quantitativen Zusammenhang der Rückstreuung und der Bodenfeuchtigkeit herstellen [42]. In den letzten Jahren haben aber auch statistische Verfahren, in denen Neuronale Netze oder andere Machine Learning Algorithmen mit Hilfe umfangreicher Referenzdaten trainiert werden, immer breitere Verwendung gefunden [43]. An der TU Wien verwenden wir einen Change Detection Ansatz, der ursprünglich für ENVISAT entwickelt wurde [44, 45] und später schrittweise für Sentinel-1 angepasst wurde [46, 47]. Dieser Algorithmus ist die Basis für das 1 km Sentinel-1 Bodenfeuchtigkeitsprodukt, das seit 2018 vom Copernicus Land Monitoring Service täglich für Europa berechnet wird. Um diese Methode weiter zu verbessern untersuchen wir gerade neue Ansätze zur Beschreibung der Vegetation und Bodenrückstreuung [48]. Die Analyse dieser neuesten Forschungsergebnisse zeigte unter anderem die extreme Trockenheit in Norditalien (Abbildung 7), die im Sommer 2022 zu einem historischen Tiefststand im Abfluss des für die Region so wichtigen Flusses Po führte.

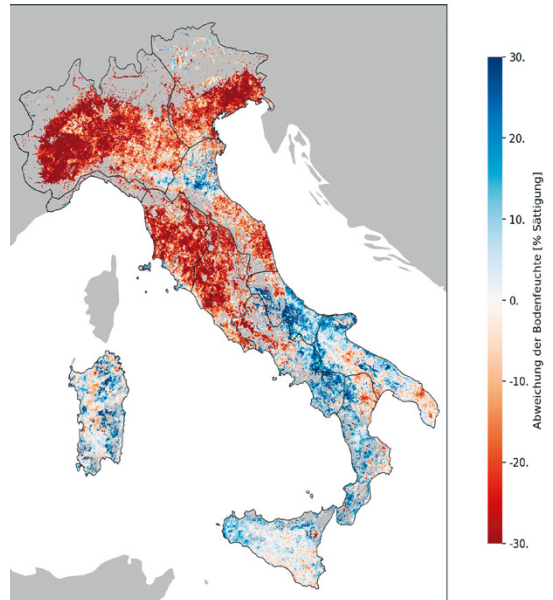


Abb. 7: Abweichung der Bodenfeuchtigkeit im Juni 2022 (Dürre) im Vergleich zu Juni 2020 (normales Jahr)

7. Ausblick

Die Sentinel-1 Daten zeigen eindrücklich, wie sehr die Menschheit sich die Erde schon zu eigen gemacht hat. Städte und Landwirtschaft drängen bis in aride Regionen vor und Bewässerungssysteme prägen in vielen dichtbevölkerten Regionen die Landschaft. Wetterextreme nehmen, wie von den Klimamodellen vorhergesagt und durch Erdbeobachtungssatelliten dokumentiert, rasch zu. Eindrückliche Beispiele waren die im Sommer 2022 von Sentinel-1 dokumentierte Flut in Pakistan, die Dürre in der Po Ebene und das Austrocknen des Schilfgürtels rund um den Neusiedlersee. An der TU Wien werden wir gemeinsam mit dem EODC und unseren wissenschaftlichen Partnern weiter an der laufenden Verbesserung der Sentinel-1 Algorithmen arbeiten, um die bestehenden operationellen Copernicus Services zu verbessern und neuartige Datenprodukte zu entwickeln. Gleichzeitig werden wir uns auf den Start der nächsten Generation europäischer SAR Satelliten vorbereiten, allen voran Sentinel-1 Next Generation und ROSE-L (Radar Observing System for Europe - L-Band). Wir erwarten uns speziell durch die gleichzeitige Verwendung zweier Frequenzen (5.4 GHz und 1.25 GHz) eine deutliche Verbesserung bei der Erfassung dynamischer Veränderungen der Landoberfläche.

Danksagung

Die in diesem Überblicksartikel vorgestellten Forschungsergebnisse sind das Ergebnis jahrelanger, vor allem von der TU Wien, FFG, BMK, BMBWF, ESA und der Europäischen Kommission unterstützten Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Die präsentierten Rechenergebnisse wurden zum Teil am Vienna Scientific Cluster (VSC) erzielt. Für die Erstellung der Abbildungen bedanke ich mich bei Claudio Navacchi, Felix Reuß, Florian Roth, Raphael Quast, Mariette Vreugdenhil und Bernhard Bauer-Marschallinger.

Referenzen

- [1] P.J. Crutzen, Geology of mankind, *Nature*, 415 (2002) 23-23.
- [2] W. Steffen, P.J. Crutzen, J.R. McNeill, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature, *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36 (2007) 614-621.
- [3] R.B. Jackson, P. Friedlingstein, C. Le Quéré, S. Abernethy, R.M. Andrew, J.G. Canadell, P. Ciais, S.J. Davis, Z. Deng, Z. Liu, J.I. Korsbakken, G.P. Peters, Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels, *Environ. Res. Lett.*, 17 (2022) 031001.
- [4] W.F. Ruddiman, The Anthropocene, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41 (2013) 45-68.
- [5] X.-P. Song, M.C. Hansen, S.V. Stehman, P.V. Potapov, A. Tyukavina, E.F. Vermote, J.R. Townshend, Global land change from 1982 to 2016, *Nature*, 560 (2018) 639-643.
- [6] F. Creutzig, C. Bren d'Amour, U. Weddige, S. Fuss, T. Beringer, A. Gläser, M. Kalkuhl, J.C. Steckel, A. Radebach, O. Edenhofer, Assessing human and environmental pressures of global land-use change 2000–2010, *Glob. Sustain.*, 2 (2019) e1.
- [7] J. van Zalk, P. Behrens, The spatial extent of renewable and non-renewable power generation: A review and meta-analysis of power densities and their application in the U.S., *Energy Policy*, 123 (2018) 83-91.
- [8] B. Zheng, P. Ciais, F. Chevallier, E. Chuvieco, Y. Chen, H. Yang, Increasing forest fire emissions despite the decline in global burned area, *Sci. Adv.*, 7 (2021) eabh2646.
- [9] T. Hlásny, L. König, P. Krokene, M. Lindner, C. Montagné-Huck, J. Müller, H. Qin, K.F. Raffa, M.-J. Schelhaas, M. Svoboda, H. Viiri, R. Seidl, Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management, *Curr Forestry Rep.*, 7 (2021) 138-165.
- [10] G.R. Koboltschnig, W. Schöner, The relevance of glacier melt in the water cycle of the Alps: the example of Austria, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15 (2011) 2039-2048.
- [11] A.K. Agnihotri, A. Ohri, S. Gaur, Shivam, N. Das, S. Mishra, Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin, *Environ Monit Assess.*, 191 (2019) 760.
- [12] P. Bauer, B. Stevens, W. Hazeleger, A digital twin of Earth for the green transition, *Nat. Clim. Chang.*, 11 (2021) 80-83.
- [13] M. Tomko, S. Winter, Beyond digital twins – A commentary, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46 (2019) 395-399.
- [14] R. Torres, P. Snoeij, D. Geudtner, D. Bibby, M. Davidson, E. Attema, P. Potin, B. Rommen, N. Floury, M. Brown, I.N. Traver, P. Deghaye, B. Duesmann, B. Rosich, N. Miranda, C. Bruno, M. L'Abbate, R. Croci, A. Pietropaolo, M. Huchler, F. Rostan, GMES Sentinel-1 mission, *Remote Sensing of Environment*, 120 (2012) 9-24.
- [15] D. Sabel, Z. Bartalis, W. Wagner, M. Doubkova, J.-P. Klein, Development of a Global Backscatter Model in support to the Sentinel-1 mission design, *Remote Sensing of Environment*, 120 (2012) 102-112.
- [16] W. Wagner, B. Bauer-Marschallinger, C. Navacchi, F. Reuß, S. Cao, C. Reimer, M. Schramm, C. Briese, A Sentinel-1 Backscatter Datacube for Global Land Monitoring Applications, *Remote Sensing*, 13 (2021) 4622.
- [17] W. Wagner, J. Fröhlich, G. Wotawa, R. Stowasser, M. Staudinger, C. Hoffmann, A. Walli, C. Federspiel, M. Aspetsberger, C. Atzberger, C. Briese, C. Notarnicola, M. Zebisch, A. Boresch, M. Enekel, R. Kidd, A. von Beringe, S. Hasenauer, V. Naeimi, W. Mücke, Addressing Grand Challenges in Earth Observation Science: The Earth Observation Data Centre for Water Resources Monitoring, *ISPRS Technical Commission VII Symposium (Volume II-7) - 29 September–2 October 2014, Istanbul, Turkey, Copernicus GmbH, 2014, pp. 81-88.*
- [18] M. Tupas, C. Navacchi, F. Roth, B. Bauer-Marschallinger, F. Reuß, W. Wagner, Computing global harmonic parameters for flood mapping using TU Wien's SAR datacube software stack, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-4/W1-2022 (2022) 495-502.
- [19] M. Schramm, E. Pebesma, M. Milenković, L. Foresta, J. Dries, A. Jacob, W. Wagner, M. Mohr, M. Neteler, M. Kadunc, T. Miksa, P. Kempeneers, J. Verbesselt, B. Gößwein, C. Navacchi, S. Lippens, J. Reiche, The openEO API—Harmonising the Use of Earth Observation Cloud Services Using Virtual Data Cube Functionalities, *Remote Sensing*, 13 (2021) 1125.
- [20] B. Bauer-Marschallinger, D. Sabel, W. Wagner, Optimisation of global grids for high-resolution remote sensing data, *Computers & Geosciences*, 72 (2014) 84-93.
- [21] C. Navacchi, S. Cao, B. Bauer-Marschallinger, P. Snoeij, D. Small, W. Wagner, Utilising Sentinel-1's orbital stability for efficient pre-processing of sigma nought backscatter, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 192 (2022) 130-141.
- [22] A. Dostalova, C. Navacchi, I. Greimeister-Pfeil, D. Small, W. Wagner, The effects of radiometric terrain flattening on SAR-based forest mapping and classification, *Remote Sensing Letters*, 13 (2022) 855-864.
- [23] B. Bauer-Marschallinger, S. Cao, C. Navacchi, V. Freeman, F. Reuß, D. Geudtner, B. Rommen, F.C. Vega, P. Snoeij, E. Attema, C. Reimer, W. Wagner, The normalised Sentinel-1 Global Backscatter Model, mapping Earth's land surface with C-band microwaves, *Sci Data*, 8 (2021) 277.
- [24] B. Bauer-Marschallinger, S. Cao, C. Navacchi, V. Freeman, F. Reuß, D. Geudtner, B. Rommen, F.C. Vega, P. Snoeij, E. Attema, C. Reimer, W. Wagner, <https://researchdata.tuwien.ac.at/records/n2d1v-gqb91>, 2021.
- [25] W. Wagner, A. Luckmann, J. Vietmeier, K. Tansey, H. Balzter, C. Schmillius, M. Davidson, D. Gaveau, M. Gluck, T. Le Toan, S. Quegan, A. Shvidenko, A. Wiesmann, J.J. Yu, Large-scale mapping of boreal forest in SIBERIA using ERS tandem coherence and JERS backscatter data, *Remote Sensing of Environment*, 85 (2003) 125-144.

- [26] K.J. Tansey, A.J. Luckman, L. Skinner, H. Balzter, T. Strozzi, W. Wagner, Classification of forest volume resources using ERS tandem coherence and JERS backscatter data, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (2004) 751-768.
- [27] M. Vreugdenhil, C. Navacchi, B. Bauer-Marschallinger, S. Hahn, S. Steele-Dunne, I. Pfeil, W. Dorigo, W. Wagner, Sentinel-1 Cross Ratio and Vegetation Optical Depth: A Comparison over Europe, *Remote Sensing*, 12 (2020) 3404.
- [28] A. Dostálová, W. Wagner, M. Milenković, M. Hollaus, Annual seasonality in Sentinel-1 signal for forest mapping and forest type classification, *International Journal of Remote Sensing*, 39 (2018) 7738-7760.
- [29] A. Dostálová, M. Lang, J. Ivanovs, L.T. Waser, W. Wagner, European Wide Forest Classification Based on Sentinel-1 Data, *Remote Sensing*, 13 (2021) 337.
- [30] F. Reuß, I. Greimeister-Pfeil, M. Vreugdenhil, W. Wagner, Comparison of Long Short-Term Memory Networks and Random Forest for Sentinel-1 Time Series Based Large Scale Crop Classification, *Remote Sensing*, 13 (2021) 5000.
- [31] M. Vreugdenhil, W. Wagner, B. Bauer-Marschallinger, I. Pfeil, I. Teubner, C. Rüdiger, P. Strauss, Sensitivity of Sentinel-1 Backscatter to Vegetation Dynamics: An Austrian Case Study, *Remote Sensing*, 10 (2018) 1396.
- [32] D.B. Nguyen, A. Gruber, W. Wagner, Mapping rice extent and cropping scheme in the Mekong Delta using Sentinel-1A data, *Remote Sensing Letters*, 7 (2016) 1209-1218.
- [33] D.B. Nguyen, W. Wagner, European Rice Cropland Mapping with Sentinel-1 Data: The Mediterranean Region Case Study, *Water*, 9 (2017) 392.
- [34] J. Zhao, R. Pelich, R. Hostache, P. Matgen, S. Cao, W. Wagner, M. Chini, Deriving exclusion maps from C-band SAR time-series in support of floodwater mapping, *Remote Sensing of Environment*, 265 (2021) 112668.
- [35] W. Wagner, V. Freeman, S. Cao, P. Matgen, M. Chini, P. Salamon, N. McCormick, S. Martinis, B. Bauer-Marschallinger, C. Navacchi, M. Schramm, C. Reimer, C. Briese, Data processing architectures for monitoring floods using Sentinel-1, XXIV ISPRS Congress, Commission III (Volume V-3-2020) - 2020 edition, Copernicus GmbH, 2020, pp. 641-648.
- [36] S. Schlaffer, P. Matgen, M. Hollaus, W. Wagner, Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38 (2015) 15-24.
- [37] B. Bauer-Marschallinger, S. Cao, M.E. Tupas, F. Roth, C. Navacchi, T. Melzer, V. Freeman, W. Wagner, Satellite-Based Flood Mapping through Bayesian Inference from a Sentinel-1 SAR Datacube, *Remote Sensing*, 14 (2022) 3673.
- [38] F. Roth, B. Bauer-Marschallinger, M.E. Tupas, C. Reimer, P. Salamon, W. Wagner, Sentinel-1 based analysis of the Pakistan Flood in 2022, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, submitted (2022).
- [39] S. Schlaffer, M. Chini, D. Dettmering, W. Wagner, Mapping Wetlands in Zambia Using Seasonal Backscatter Signatures Derived from ENVISAT ASAR Time Series, *Remote Sensing*, 8 (2016) 402.
- [40] K. Morrison, W. Wagner, Explaining Anomalies in SAR and Scatterometer Soil Moisture Retrievals From Dry Soils With Subsurface Scattering, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 58 (2020) 2190-2197.
- [41] W. Wagner, R. Lindorfer, T. Melzer, S. Hahn, B. Bauer-Marschallinger, K. Morrison, J.-C. Calvet, S. Hobbs, R. Quast, I. Greimeister-Pfeil, M. Vreugdenhil, Widespread occurrence of anomalous C-band backscatter signals in arid environments caused by subsurface scattering, *Remote Sensing of Environment*, 276 (2022) 113025.
- [42] R. Quast, W. Wagner, Analytical solution for first-order scattering in bistatic radiative transfer interaction problems of layered media, *Appl. Opt.*, 55 (2016) 5379.
- [43] F. Greifeneder, C. Notarnicola, W. Wagner, A Machine Learning-Based Approach for Surface Soil Moisture Estimations with Google Earth Engine, *Remote Sensing*, 13 (2021) 2099.
- [44] C. Pathe, W. Wagner, D. Sabel, M. Doubkova, J.B. Barbara, Using ENVISAT ASAR Global Mode Data for Surface Soil Moisture Retrieval Over Oklahoma, USA, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 47 (2009) 468-480.
- [45] A. Dostálová, M. Doubková, D. Sabel, B. Bauer-Marschallinger, W. Wagner, Seven Years of Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) Global Monitoring (GM) of Surface Soil Moisture over Africa, *Remote Sensing*, 6 (2014) 7683-7707.
- [46] M. Hornacek, W. Wagner, D. Sabel, H.-L. Truong, P. Snoeij, T. Hahmann, E. Diedrich, M. Doubkova, Potential for High Resolution Systematic Global Surface Soil Moisture Retrieval via Change Detection Using Sentinel-1, *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observations Remote Sensing*, 5 (2012) 1303-1311.
- [47] B. Bauer-Marschallinger, V. Freeman, S. Cao, C. Paulik, S. Schaufner, T. Stachl, S. Modanesi, C. Massari, L. Ciabatta, L. Brocca, W. Wagner, Toward Global Soil Moisture Monitoring With Sentinel-1: Harnessing Assets and Overcoming Obstacles, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 57 (2019) 520-539.
- [48] R. Quast, C. Albergel, J.-C. Calvet, W. Wagner, A Generic First-Order Radiative Transfer Modelling Approach for the Inversion of Soil and Vegetation Parameters from Scatterometer Observations, *Remote Sensing*, 11 (2019) 285.

Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner, Technische Universität Wien, Department Geodäsie und Geoinformation, Wiedner Hauptstraße 8-10, 1040 Wien.
E-Mail: wolfgang.wagner@geo.tuwien.ac.at

Digitaler geoZwilling – Datenmodell für ein virtuelles Abbild der Stadt Wien

Digital geoTwin – Datamodel for a virtual replica of the City of Vienna



Hubert Lehner, Sara Lena Kordasch, Charlotte Glatz, Wien und Giorgio Agugiaro, Delft

Kurzfassung

Die Stadtvermessung Wien arbeitet seit Ende 2019 am Projekt *Digitaler geoZwilling*. Dabei wurde eine neue Strategie sowohl in der Erstellung semantischer 3D-Objekte als auch anderer Geodatenprodukte ins Zentrum gestellt, welche bestehende Workflows komplett umstrukturiert und neu durchdenkt. Der Kern der Strategie ist es, die dreidimensionalen Messdaten der Stadtvermessung aus bestehenden aber auch potenziell neuen Messmethoden direkt zu einem Digitalen geoZwilling – einem virtuellen, semantischen 3D-Abbild aller Objekte der Stadt – zu verarbeiten und andere Geodatenprodukte (Stadtkarte, Höhenmodelle, etc.) aus diesem 3D-Abbild abzuleiten. Weiters soll der Digitale geoZwilling als geometrische und semantische Grundlage für einen Digitalen Zwilling der Stadt Wien dienen.

In dem Artikel versuchen wir das Konzept eines Digitalen Zwillings im Kontext einer Großstadt zu erläutern und den Zusammenhang zu anderen Begriffen rund um das Thema herzustellen. In weiterer Folge wird auf die Entwicklung und die Ziele des Digitalen geoZwillings eingegangen, es werden Grundlagen der 3D-Modellierung beschrieben und die Notwendigkeit von neuen Datenmodellen diskutiert. CityGML als internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle bietet ein Fundament für die Entwicklung solcher Datenmodelle. Die Entwicklung, Konzepte und Nutzung von CityGML in der Praxis werden vorgestellt. Die Ergebnisse einer prototypischen Entwicklung eines Datenmodells für den Digitalen geoZwilling auf der Basis von CityGML bilden den Hauptteil der Arbeit.

Schlüsselwörter: Digitaler geoZwilling, Digitaler Zwilling, 3D-Stadtmodell, City Information Modelling, CIM, CityGML, 3D GIS, LOD

Abstract

The surveying and mapping department of the City of Vienna has been working on the Digital geoTwin project since the end of 2019. The new strategy focuses on both the creation of semantic 3D objects and other geodata products, which completely restructures and rethinks existing workflows. The core of the strategy is to process the three-dimensional measurement data of the surveying and mapping department from existing as well as potentially new measurement methods directly into a Digital geoTwin – a virtual, semantic 3D replica of all objects in the city – and to derive other geodata products (city map, elevation models, etc.) from this 3D model. Furthermore, the Digital geoTwin should serve as a geometric and semantic basis for a digital twin of the City of Vienna. In this article, we try to explain the concept of a digital twin in the context of a large city and to establish the connection to other terms related to the topic. Subsequently, the development and goals of the Digital geoTwin will be discussed, the basics of 3D modelling will be described and the need for new data models will be assessed. CityGML as an international standard for 3D city models offers a foundation for the development of such data models. The development, concepts and use of CityGML in practice are presented. The results of a prototypical development of a data model for the Digital geoTwin based on CityGML form the main part of this article.

Keywords: Digital geoTwin, Digital Urban Twin, 3D-citymodel, City Information Modelling, CIM, CityGML, 3D GIS, LOD

1. Einleitung

Mit dem Voranschreiten der Digitalisierung in vielen Lebensbereichen und dem technischen Fortschritt waren und sind auch Geodaten großen Veränderungen unterworfen. Wiewohl sich an dem Grundgedanken von Geodaten nichts geändert hat – sie dienen nach wie vor zur Orientierung und zur Visualisierung von räumlichen Zusammenhängen – müssen sie mit dem technischen Fortschritt auch immer mehr Aufgaben und Anforderungen erfüllen.

Das Aufkommen erster kommerzieller GIS-Systeme in den 1980er Jahren hat einen ersten Digitalisierungsschub in der Geodatenbranche ausgelöst. So ist es nicht verwunderlich, dass die meisten größeren Kommunen in den Industrieländern eine Historie an digitalen Geodaten haben, die in diese Zeit zurückreicht. Digitale Kartenwerke dienen auch in diesen Geoinformationssystemen (GIS) vor allem menschlichen Benutzer*innen dazu Orientierung zu geben und haben sich somit zu einer Basis (Geobasisdaten) für GIS entwickelt. Darüber hinaus müssen diese Geobasisdaten auch alleine oder mit zusätzlichen Geodaten (zB. Fachdaten, Planungsdaten) analysierbar und auswertbar sein. Zu dem Zweck der Visualisierung und Orientierung ist somit auch ein Zweck der analytischen Verarbeitbarkeit durch Algorithmen dazugekommen. Während 2,5D-Daten in Form von Höhengschichtenlinien schon vor der ersten Digitalisierungswelle in analogen Geodatenzeiten produziert worden sind, gibt es tatsächliche 3D-Geodaten eigentlich erst seit den 2000er Jahren in Form von 3D-Stadtmodellen, die sich damals auf 3D-Gebäudemodelle beschränkt haben.

Rasant steigende Prozessierungsleistung und damit einhergehend neue Technologien (neuronalen Netze, Machine Learning, künstliche Intelligenz, Computer Vision) haben einen weiteren Digitalisierungsschub nicht nur in der Geodatenbranche aber auch hier sowohl in der Aufnahme, Verarbeitung und Analyse von Daten (BigData) ausgelöst. Hier stellt sich nun die Frage, welche Aufgabe müssen Geobasisdaten in dieser Zeit und in Zukunft erfüllen können.

Aus der Industrie 4.0 kommend hat sich aktuell das Konzept des Digitalen Zwillings für Städte als maßgebliches neues Thema herausgestellt. Im Zentrum dieses Konzepts steht eine digitale Kopie des zu simulierenden Produktionsworkflows oder Systems. Es geht also sowohl um die geometrische Modellierung von physischen Objekten

in einem virtuellen (3D-) Raum als auch um die Informationsmodellierung und darüber hinaus um die Modellierung von Prozessen und Zusammenhängen mit dem Ziel, diese digitalen mit Informationen angereicherten oder verknüpften Modelle als Kollaborationsplattform für viele Disziplinen zu nutzen.

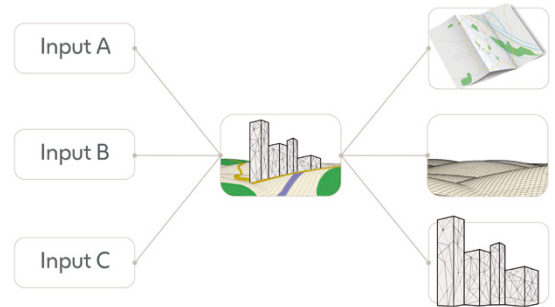


Abb. 1: Konzept zur Ableitung von Geobasisdaten aus dem Digitalen geoZwilling.

Mit dem Projekt Digitaler geoZwilling wurde nun der erste Schritt in diese Richtung gesetzt. Im Kern des Projekts geht es darum, anders als in der Vergangenheit, alle vorhandenen Messdaten zu einem semantischen, vektorbasierten Modell – einem virtuellen Abbild der Stadt – zu verarbeiten. Einfachere oder generalisierte Geodatenprodukte sollen in weiterer Folge aus dem Digitalen geoZwilling abgeleitet werden (siehe Abbildung 1). Mit dieser Strategie kann zukünftig auch die zeitliche und inhaltliche Kohärenz der mit dem Digitalen geoZwilling zusammenhängenden Geodatenprodukten gewährleistet werden. Das Präfix „geo“ für den Neologismus *Digitaler geoZwilling* wurde bewusst gewählt um den Fokus des geodätischen, geometrischen Aspekts in der Erstellung der semantischen Geobjekte hervorzuheben, aber auch um das Thema zum weiten Begriff eines gesamten Digitalen Zwillings der Stadt abzugrenzen. Zur Einbettung des Digitalen geoZwillings in einen Digitalen Zwilling der Stadt Wien wurden bereits zu Beginn des Projekts mehrere UseCases definiert um bei der Entwicklung des Digitalen geoZwillings notwendige Schnittstellen zu Fachdatensystemen, Planungsdaten oder Simulationsanwendungen vorzusehen. Erst die Nutzung des Digitalen geoZwillings als Geobasis einer kollaborativen Plattform ermöglicht es, das volle Potenzial eines Digitalen Zwillings einer Stadt zu heben.

Zur Prüfung der technischen Machbarkeit hat sich die Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung Wien (MA 41) im Rahmen eines Proof-of-

Concept (PoC) der Herausforderung gestellt, in einem Testgebiet aus den vorliegenden 3D-Messdaten semantische 3D-Objekte zu bilden und in weiterer Folge Datenmodelle zu finden, die die Informationen auch tragen und vorhalten können.

Mit dem Projekt des Digitalen geoZwillings stehen wir also vor einem Paradigmen-Wechsel im Vergleich zu bestehenden Produktionsschienen für Geobasisdaten. Bei jenen werden in der Regel mehrere Workflows/Softwareprodukte, die auf die Erstellung und Aktualisierung des jeweiligen Geodatenprodukts spezialisiert sind, verwendet. Dabei sind oft nicht nur die Bearbeitungsfunktionen unterschiedlich und auf das jeweilige Produkt spezialisiert, sondern auch die verwendeten Datenmodelle.

Für die Produktion von 2D-Karten werden zwar oft auch 3D-Eingangsdaten verwendet – die Bearbeitung erfolgt meist in kommerziellen GIS-Systemen, wobei die z-Koordinaten der Input-Daten in der Regel ab einem gewissen Zeitpunkt weggelassen werden. Manchmal, wie auch im Fall der Flächen-Mehrzweckkarte (FMZK)¹ der Stadt Wien, werden z-Koordinaten der Input-Daten aggregiert und zu einem oder mehreren Höhenattributen der 2D-Objekte zusammengefasst.

Mit der Entwicklung kommerzieller ALS-Systeme in den 2000er Jahren hat sich die Produktion von 2,5D-Höhenmodellen aus der luftbildbasierten photogrammetrischen Ableitung von Höhenschichtenlinien in Richtung vollautomatischer Prozessierung von Gelände- und Oberflächenmodellen auf Basis der aufgenommenen ALS-Punktwolken verschoben. Für hohe Anforderungen an Geländemodelle, welche vor allem im dicht verbauten städtischen Bereich durch eine Vielzahl an Stützmauern gegeben ist, haben sich Softwareprodukte zur Modellierung von hybriden Geländemodellen entwickelt. Dabei werden regelmäßige GRID-Daten mit Bruchkanten und Formlinien kombiniert. Hybride Geländemodelle sind somit in der Lage auch sehr scharfe Kanten im Gelände wiederzugeben. Ein bekanntes Softwareprodukt für diese Art der Modellierung ist die Software DTMaster² der Firma Inpho, welche 2007 von Trimble übernommen wurde.

Im Zusammenhang mit der Modellierung von Gebäuden für 3D-Stadtmodelle gibt es je nach Detaillierungsgrad (engl.: Level of Detail – LOD)

1) <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/fmzk/index.html>

2) <https://de.geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-inpho>

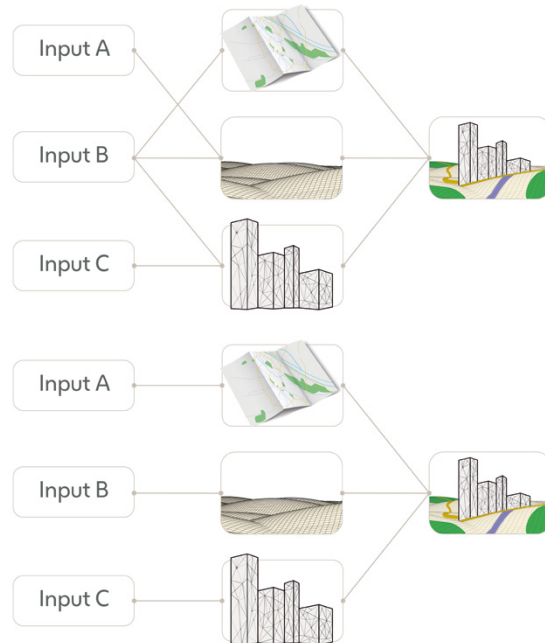


Abb. 2: Klassischer Weg zur Erstellung von Geodaten und Kombination dieser Daten zu einer 3D-Szene. Beispielhafte Darstellung der Mehrfachnutzung von Input-Daten in mehreren Geobasisdaten (oben) im Vergleich zu separaten Input-Daten pro Datensatz (unten).

sehr unterschiedliche Ansätze. Einfache Blockmodelle (LOD1.1-1.4, siehe Biljecki et al. 2016 und Lehner und Dorffner, 2020) können, so wie das Baukörpermodell in Wien, durch Hinzunahme eigener Höhenattributfelder gemeinsam mit 2D-Geodaten der Stadtkarte mitverwaltet werden. Für die Erstellung von LOD2.1 Modellen (siehe Lehner und Dorffner, 2020) gibt es eine Anzahl von semi-/automatischen Ansätzen z.B. basierend auf Punktwolken aus ALS oder Bildmatching, siehe Tridicon³, welche 2012 von Hexagon übernommen und in die Software HxMap⁴ inkludiert wurde, oder BREC⁵ der Firma virtualcitysystems. Für höher detaillierte Gebäudemodelle (z.B. LOD 2.4, siehe Lehner und Dorffner, 2020) ist in der Regel eine interaktive Bearbeitung auf Basis von photogrammetrischer Auswertung erforderlich, siehe z.B. CityGRID⁶ der Firma UVM Systems.

3) <https://informedinfrastructure.com/11066/tridicon-3d-building-finder-automates-3d-city-model-creation/>

4) <https://leica-geosystems.com/de-at/products/airborne-systems/software/leica-hxmap>

5) <https://vc.systems/produkte/building-reconstruction/>

6) <https://www.uvm-systems.com/index.php/de-de/software/soft-city>

	CIM	BIM
Geometrie	hauptsächlich BREP (Boundary representation)	hauptsächlich parametrisch modellier- te CSG (Constructive solid geometry)
hauptsächliche Datenquelle	Vermessung	Design
Modellierungsdetails (d) im Bereich von	1000 m > d > 0,1 m	50 m > d > 0,001 m
Semantik	ausgerichtet auf Beschreibung der Stadt/Landschaft	ausgerichtet auf Beschreibung von kleinen Gebäudeteilen
Georeferenzierung	verpflichtend	optional
unterstützte Analysen	Stadt-level	Gebäude-level
Entwicklung aus	Geoinformationssysteme (GIS)	Computer-Aided Design (CAD)
hauptsächlicher Nutzerkreis	öffentliche Hand	Industrie
primäre Datenhaltung	datenbankbasiert	filebasiert

Tab. 1: Vergleich zwischen CIM und BIM (angepasst von Noardo et al. 2020)

Der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Geobasisdaten ist manchmal durch Nutzung zum Teil identer Eingangsdaten in den unterschiedlichen Prozessen gegeben oder, falls auch die Aufnahme der Eingangsdaten getrennt vorgenommen wird, gar nicht gegeben.

Eine 3D-Szene der Stadt wird folglich aus der Kombination der unterschiedlichen 2D-, 2,5D- und 3D-Daten erzielt. Ein einheitliches Datenformat für das Resultat dieser Kombination gibt es in der Regel nicht (siehe Abbildung 2).

Werkzeuge für die tatsächliche 3D-Modellierung von 3D-Szenen findet man eher im Bereich von CAD-Software im Design- und Planungsbereich. Wesentliche Unterschiede im Vergleich zur Modellierung von Geobasisdaten liegen darin, dass in lokalen Koordinatensystemen, filebasiert, kaum datenbankbasiert und in ganz anderen Maßstäben gearbeitet wird. Die Bearbeitungsfunktionen dieser Softwareprodukte sind daher eher für die Modellierung von neuen geplanten Objekten ausgerichtet, welche effizient mittels parametrisierten Bauteilen, sogenannten Constructive solid geometries (CSG), modelliert werden können, und nicht auf die Modellierung von Bestandsobjekten basierend auf Messdaten spezialisiert. Einen gu-

ten Überblick zu den Unterschieden dieser beiden Bereiche gibt der Vergleich zwischen 3D-Stadtmodellierung/City Information Modelling (CIM) und Building Information Modellierung (BIM), siehe Tabelle 1.

Für eine durchgehende 3D-Modellierung aller Objekte mangelt es somit also sowohl an Softwarelösungen als auch an Datenmodellen für die Verwaltung und Speicherung.

Bereits relativ zu Beginn der Entwicklung von 3D-Stadtmodellen vor ca. 20 Jahren wurde der Mangel an Industriestandards erkannt und von der SIG 3D (Special Interest Group 3D)⁷ aufgegriffen. Die Arbeitsgemeinschaft mit Partnern aus der öffentlichen Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft hat damals den Grundstein für CityGML gelegt. Dieser Standard wurde mittlerweile bereits 2008 von der OGC (Open Geospatial Consortium)⁸ übernommen und seitdem fortgeführt.

Bei der Entwicklung des Standards wurde auf die oben skizzierte Bearbeitung unterschiedlicher Geodatenprodukte Rücksicht genommen und so ist die Kombination einzelner Geodaten (DGM, Gebäudemodelle, 2D-Stadtkarte, ...) durch den

⁷) <https://www.sig3d.org/>

⁸) <https://www.ogc.org/>

Standard abgedeckt. CityGML fungiert in diesem Fall als eine einheitliche Datendrehzscheibe für konventionell erstellte 2D-, 2,5D- und 3D-Geobasisdaten.

Die zentrale Frage, ob und inwieweit CityGML für die Speicherung und Verwaltung des Digitalen geoZwillings geeignet ist, wurde im PoC des Projekts untersucht und basierend auf der Modellierung eines Testgebietes geprüft. Die Ergebnisse werden in diesem Artikel vorgestellt.

Zur Einordnung in den Kontext eines Digitalen Zwillings der Stadt wird dieser Begriff in Kapitel 2 aus dem Verständnis der Autor*innen genauer betrachtet und in weiterer Folge auch im Vergleich zu anderen Begriffen eingeordnet (siehe Kapitel 2.1). Kapitel 3 geht auf das Projekt des Digitalen geoZwillings ein und beschreibt die postulierten Konzepte. Kapitel 4 gibt einen allgemeinen Überblick zu den Möglichkeiten der geometrischen 3D-Modellierung. Die Modellierung des Datenmodells wird in Kapitel 5 diskutiert. Dieses Kapitel teilt sich in eine Beschreibung des Datenstandards CityGML (Kapitel 5.1) und der prototypischen Umsetzung des Datenmodells des Digitalen geoZwillings basierend auf CityGML (Kapitel 5.2). Kapitel 6 fasst die Ergebnisse zusammen. Das abschließende Kapitel 7 gibt einen Ausblick in die weitere Entwicklung des Digitalen geoZwillings und angrenzende Themen.

2. Digitaler Zwilling im Kontext einer Großstadt

Ursprünglich aus der Industrie 4.0 kommend, sind Digitale Zwillinge ein aufstrebendes internationales Konzept der Digitalisierung. Ein digitaler Zwilling beschreibt die virtuelle Repräsentation von Objekten, Prozessen und Systemen. Die Abbildung in der virtuellen Welt kann je nach Anwendung unterschiedlichen Zielen, wie der Simulation, dem Monitoring, der Erhaltung, der Planung und Weiterentwicklung des abgebildeten Systems dienen. Übergeordnetes Ziel ist dabei meist, dass die virtuelle Welt der Abbildung komplexer Systeme und der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen dient.

Städte sind komplexe Ökosysteme. Eine Großstadt zu managen und für nachfolgende Generationen weiterzuentwickeln ist eine Herausforderung und eine große Verantwortung. In der öffentlichen Verwaltung und in ausgelagerten Versorgungsbetrieben arbeiten viele Expert*innen in unterschiedlichen Bereichen - alle mit speziel-

lem Wissen, speziellen Daten und Systemen. Um bereichsübergreifend auch in Zukunft die richtigen Entscheidungen für Planung, Verwaltung und Management der Infrastruktur treffen zu können, aber auch um die Stadt in die richtige Richtung weiterzuentwickeln, braucht es Methoden und technische Lösungen.

Urbane Digitale Zwillinge versuchen eine Antwort auf diese Herausforderung zu geben und spielen im Kontext der Digitalisierung von Städten eine immer zentralere Rolle. Prozesse in Stadtverwaltungen verlagern sich zunehmend in den digitalen Raum, wobei der physische, der soziale und der virtuelle Raum immer enger verknüpft werden. Modernes Stadtmanagement benötigt in diesem Umfeld immer mehr und immer aktuellere Daten. Ein Urbaner Digitaler Zwilling stellt ein lebendiges, digitales Abbild dar und ist somit nicht statisch, sondern entwickelt sich mit seinem Pendant in der physischen und sozialen Realität mit. Ein Digitaler Zwilling ist aber nicht nur eine technische Lösung, sondern auch eine neue Art der Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Disziplinen. In diesem Sinne kann man einen urbanen digitalen Zwilling auch als interdisziplinäre Kollaborationsplattform verstehen. Es geht also um die Vernetzung von Fachwissen und Systemen, im weitesten Sinn also um ein System aus Systemen, welches neben dem Erhaltungsmanagement auch der Weiterentwicklung der Stadt dient. Ein Digitaler Zwilling der Stadt stellt somit auch eine virtuelle Welt zur Simulation von zukünftigen Entwicklungen dar bevor diese in der Realität umgesetzt werden, um daraus Schlüsse für Entscheidungsprozesse zu ziehen und die richtigen Entscheidungen für die Zukunft zu treffen.

Ein Digitaler Zwilling ist also nicht ein Datensatz, nicht eine Software, nicht ein System oder eine Datenbank. Vielmehr geht es darum das gewachsene Fachwissen einer Stadt zu verbinden. Es geht also um ein System aus Systemen, um Interoperabilität zwischen Datenbanken und technikbasierte Zusammenarbeit von verschiedensten Disziplinen. Daraus resultiert auch, dass es keinen Digitalen Zwilling „von der Stange“ gibt. Der Aufbau und die Entwicklung eines urbanen Digitalen Zwillings ist immer eine maßgeschneiderte Lösung, die auf die Entwicklung einer Stadt eingeht und mit ihr wachsen muss. Konzepte und Strategien sind aber übertragbar. Internationaler Austausch dazu ist daher ein wichtiger Faktor für die Entwicklung.

Durch die Komplexität des Themas ist der Begriff des Digitalen Zwillings im Kontext von Städten sehr vielfältig und sehr unterschiedlich in Verwendung. Während die Nutzung des Begriffs zum Teil aus einem zu einfachen Verständnis oder Unverständnis des Konzepts rührt, ist die aus unserer Sicht falsche Nutzung in manchen Bereichen auch dem Marketing geschuldet. Zum Teil wurde der Begriff Digitaler Zwilling als Rebranding von bestehenden Produkten, Techniken, Software, etc. eingesetzt. Dieser Umstand verstärkt daher, dass der Begriff des Digitalen Zwillings und auch die Idee und das Konzept dahinter noch schwerer greifbar werden.

Für das Ziel ein geodätisches, geometrisches Grundlagemodell für einen Digitalen Zwilling einer Stadt zu bilden, war es also – wie eingangs erwähnt – erforderlich mit dem Neologismus **Digitaler geoZwilling** einen neuen Begriff zu finden um das Projekt und unser Konzept von dem Digitalen Zwilling einer Stadt, welcher viel mehr umfasst, abgrenzen und dadurch auch genauer definieren zu können.

2.1. Zusammenhang zu weiteren Begriffen

Der Begriff Digitaler Zwilling findet seit den letzten Jahren in einem sehr breiten Feld Einsatz – von der Industrie 4.0 bis hin zu Städten und grenzüberschreitenden, urbanen Regionen und Projekten. In diesem Zusammenhang werden unter dem Kernbegriff Digitaler Zwilling diverse Umsetzungsvarianten vermarktet – von einer Punktwolke, über ein reines Visualisierungsmodell bis hin zu einem 3D-Gebäudemodell.

Aus diesem Grund wurde im Projekt Digitaler geoZwilling – sowohl zur Positionierung als auch zur Abgrenzung der einzelnen Begriffe – ein Glossar erarbeitet. Da, wie schon erwähnt, ein Digitaler Zwilling auch zur Vernetzung zwischen unterschiedlichen Disziplinen dient, war die Erstellung des Glossars für die Arbeit in dem Projekt von großer Bedeutung. Wo vorhanden wird auf bestehende Begriffsdefinitionen verwiesen. Nachfolgend die ausgearbeiteten Definitionen und Beschreibungen der Begriffe in tabellarischer Form:

Begriff Schlagworte	Definition
3D-Stadtmodell Geometrie	Bei einem 3D-Stadtmodell handelt es sich um ein vektorbasiertes, dreidimensionales, digitales Modell einer Stadt. Das Modell enthält definierte, reale Objekte (z.B. Gebäude, Vegetation, Brücken etc.) in einer festgelegten Qualität. Der Begriff 3D-Stadtmodell sagt jedoch nichts darüber aus, welche Objekte in dem Modell abgebildet werden. Oftmals werden 3D-Gebäudemodelle einer Stadt als 3D-Stadtmodell bezeichnet. Der Begriff 3D-Stadtmodell wird oft als Überbegriff für verschiedene Ausprägungen verwendet und sagt nicht unbedingt aus, ob das Modell auch Semantik und Attribute enthält (siehe semantisches 3D-Stadtmodell).
Semantisches 3D-Stadtmodell Geometrie + Semantik	Ein semantisches 3D-Stadtmodell spezifiziert genauer, dass neben der Form (Geometrie) der 3D-Objekte auch die Bedeutung (Semantik) eben dieser im Modell enthalten ist. Während die Geometrie nach dem „wo“ fragt, bezieht sich die Frage der Semantik nach dem „was“.
Visualisierungsmodell Geometrie + Textur	Ziel eines Visualisierungsmodells ist die realitätsnahe Darstellung (bei bestehenden Objekten der Wiedererkennungswert). Neben der Geometrie sind dazu Texturen entweder in Form von Fotos oder generischen Texturen üblich. Die Geometrien müssen dazu keine weiteren Informationen oder Gliederung enthalten. Ein texturiertes 3D-Mesh stellt eine spezielle Ausprägung eines Visualisierungsmodells dar.

<p>3D-Mesh</p> <hr/> <p>Dreiecksvermaschung, 3D-TIN, 3D-Orthophoto</p>	<p>3D-Meshes sind Modelle, welche die Geometrie von Oberflächen durch hochauflösende Dreiecksvermaschung (3D-TIN) darstellen. Texturierte 3D-Meshes enthalten zusätzlich Bildinformation und geben dadurch ein äußerst realitätsnahes Abbild der dargestellten Objekte wieder.</p> <p>Im Kontext von Städten werden 3D-Meshes vielfach aus photogrammetrisch aufgenommenen Luftbilddaten (eventuell durch Ergänzung von Laserscanning Punktwolken) abgeleitet. Ihr wesentliches Merkmal ist, dass alle Oberflächen texturiert sind. Dies geschieht meist über Befliegungen, bei denen eine Schrägluftkamera die üblichen Senkrechtbilder (Nadir) ergänzt.⁹</p>
<p>3D-Punktwolke</p> <hr/>	<p>Bei 3D-Punktwolken handelt es sich um eine irregulär im virtuellen Raum verteilte Ansammlung von Punkten. Diese entstehen u.a. bei der Digitalisierung von Objekten durch unterschiedliche Aufnahmeverfahren oder Sensoren (Laserscanning, Bildmatching, Lichtschnittverfahren, ...). Die Punkte können je nach Entstehungsart noch zusätzliche Information wie Farbwerte oder Intensität (Signalstärkemessung) enthalten.</p>
<p>Digitalisierung</p> <hr/> <p>Daten/Informationen</p>	<p>Unter Digitalisierung versteht man die Umwandlung von analogen Informationen in digitale Formate, d.h. Formate, welche sich zu einer Verarbeitung oder Speicherung in digitaltechnischen Systemen eignen.¹⁰</p> <p>Im Prinzip ist jede Datenaufnahme und -auswertung, welche von der Stadtvermessung durchgeführt wird, eine Digitalisierung des Naturstands von Wien (Laserscanning, Luftbildbefliegung, photogrammetrische Auswertung, Straßenbefahrung, terrestrische Vermessung, etc.).</p>
<p>Digitalisierung</p> <hr/> <p>Prozesse</p>	<p>„Digitalisierung ist im Kern der Vorgang, in dem ein Prozess nach Prüfung auf Notwendigkeit bzw. Anwendungsfreundlichkeit und Effizienz und Effektivität unter Einsatz aktueller technologischer Werkzeuge, höchstem Automatisierungsgrad und mit dem Fokus auf Einfachheit und Bequemlichkeit neugestaltet wird. Die Prüfung bzw. Neugestaltung umfasst, beispielsweise bei Bürger*innenservices, die Antragstellung, den Bearbeitungsablauf, die Bezahlung bis hin zur Zustellung alle Teilaspekte des Prozesses.</p> <p>Nicht darunter zu verstehen ist die bloße Elektronifizierung eines bestehenden Teilprozesses oder eventuell eines Gesamtprozesses ohne die vorher erwähnten Begleitprüfungen.“ (siehe Hagler 2018).</p>
<p>Digitaler Zwilling</p> <hr/>	<p>Digitale Zwillinge sind ein aufstrebendes Konzept zur Digitalisierung von Objekten, Prozessen und Systemen. Diese Digitalen Zwillinge (virtuelle Umgebung) können in weiterer Folge für Analysen und Simulation und als gemeinsame Plattform für viele Fachanwendungen genutzt werden.</p> <p>Das Konzept eines Digitalen Zwillings wird mittlerweile in vielen Disziplinen und Bereichen angewandt wie z.B. der Fertigungsindustrie, der Medizin, der Transportwirtschaft, der Fahrzeugindustrie, der Bauwirtschaft (siehe BIM), ... (siehe Lehner und Dorffner, 2020)</p>

⁹ <https://www.business-geomatics.com/2020/12/08/mit-plexmap-von-geoplex-bundesstadt-bonn-erstellt-3d-mesh/>

¹⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/Digitalisierung>

<p>Digitaler geoZwilling Urheber: Lehner und Dorffner, 2020</p>	<p>Der Digitale geoZwilling ist ein semantisches, vektorbasiertes 3D-Stadtmodell, welches neben Gebäuden alle Objekte der Stadt enthält.</p> <p>Der Digitale geoZwilling ist also ein virtuelles Abbild der Stadt und umfasst alle Bestandsobjekte in standardisierter Form. Damit bildet der Digitale geoZwilling die geometrische und semantische Basis/Grundlage für den Digitalen Zwilling der Stadt Wien und knüpft über Schnittstellen („Antennen“) an diesen an. (siehe Lehner und Dorffner, 2020)</p>
<p>Planungszwilling Urheber: Lehner und Kordasch 2021</p>	<p>Der Planungszwilling ist ein virtuelles Abbild der Zukunft der Stadt. Er verändert sich im Zuge der Planungsphasen. Zu manchen Zeitpunkten können mehrere Varianten gleichzeitig existieren. Dadurch ermöglicht er Szenario-Analysen, die als Entscheidungsgrundlage dienen können. (siehe Lehner und Kordasch 2021)</p>
<p>Digitaler Zwilling der Stadt Wien</p>	<p>Der Digitale Zwilling der Stadt Wien ist ein lebendiges digitales Abbild der Stadt, das erlaubt, bestehende Prozesse in der Stadt zu monitoren, neue Daten zu generieren, Planungen in Szenarien zu simulieren und damit datenbasiert bessere Entscheidungen zu treffen. Dadurch bietet er einen hohen Mehrwert für die interne Aufgabenerledigung und die Zusammenarbeit mit Bevölkerung, Wirtschaft und Wissenschaft. (siehe Digitaler Zwilling der Stadt Wien, Leitprojekt Strategie WIEN 2030 – Wirtschaft & Innovation¹¹)</p>
<p>Verknüpfung von Geodaten und Fachdaten</p>	<p>Unter Fachdaten versteht man alle Daten, welche in Dienststellen gemäß ihren Aufgaben erfasst oder verarbeitet werden.¹²</p> <p>Die Verknüpfung von Fachdaten mit Geoobjekten erfolgt über räumliche Zusammenhänge der Datensätze, über eindeutige, in beiden Datensätzen vorkommende Schlüssel oder Verknüpfungstabellen. Das Ergebnis stellt einen Mehrwert in Bezug auf Datenreichtum, Datenhandling und Datennutzung dar.</p>
<p>LOD (Level of Detail) Detailierung / Generalisierung</p>	<p>Das Level of Detail (LOD) von 3D-Stadtmodellen beschreibt die geometrische Detailierung/Generalisierung von 3D-Stadtobjekten. Bezogen auf Gebäudemodelle ist das LOD-Konzept von CityGML das am weitesten verbreitete. (siehe Lehner und Dorffner, 2020)</p> <p>Vorsicht: Level of Detail (LOD) hat in anderen Disziplinen andere Bedeutungen. In BIM wird LOD z.B. für Level of Development also den Grad der Fertigstellung eines Bauwerksmodells verwendet.¹³</p>
<p>LOG (Level of Geometry) Detailierung / Generalisierung</p>	<p>Als Level of Geometry (LOG) wird in BIM der geometrische Detaillierungsgrad, d.h. die Genauigkeit der geometrischen Abbildung eines Objekts in einem digitalen Modell bezeichnet. Er definiert, wie viele geometrische Informationen ein Element besitzt.¹⁴</p> <p>LOG in BIM entspricht damit LOD bei Stadtmodellen.</p>

11) <https://www.wien.gv.at/wirtschaft/standort/pdf/wien2030-leitprojekte.pdf>

12) https://digitales.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/47/2020/12/3_DatenVerstehen_StW-BasicSchulung_20201204_OGDoc_v1.0-6.pdf

13) <https://www.drivecon.de/de/lexikon/lod>

LOA (Level of Accuracy) <hr/> Messgenauigkeit	Das Level of Accuracy (LOA) ist ein Maß dafür, wie nah und richtig ein angegebener Wert zum tatsächlichen, realen Wert gemessen wurde.
Level of Information (LOI) <hr/> Informationsreifegrad	Das Level of Information (LOI) beschreibt in BIM den alphanumerischen Informationsreifegrad von virtuellen Bauteilen. Pro Planungsphase werden mehr und mehr Eigenschaften definiert, bis schließlich alle Informationen vorliegen, um das Element zu errichten. Nach Errichtung werden (unter der Voraussetzung einer sog. As-Built-Dokumentation) üblicherweise noch weitere, für den Betrieb nötige Informationen hinzugefügt, der LOI steigt also auch nach der Ausführung noch weiter. ¹⁵
CIM (City Information Modeling) <hr/>	Durch die Anreicherung von thematischen Sachinformationen wie Mobilität, Wirtschaft, Umwelt, oder Energie an geometrische Modelle / Geoobjekte, entsteht der Prozess des City Information Modeling (CIM) . CIM fokussiert also auf die Modellierung von Geoobjekten UND Informationen und erstellt dadurch intelligente Daten-angereicherte virtuelle Stadtmodelle, die für Simulationen und Analysen genutzt werden können. (siehe Lehner und Dorffner, 2020)
BIM (Building Information Modeling) <hr/>	„Unter Building Information Modeling (BIM) wird in der Baubranche eine innovative Arbeitsmethode im Planungs-, Abwicklungs- und Betreiberprozess verstanden, welche auf digitalen Gebäudemodellen basiert. Das Bauwerk wird vor der Realisierung als Modell im Computer gebaut – „build digitally first“. (...) Diese Modelle enthalten nicht nur rein geometrische Daten für eine dreidimensionale Darstellung oder die Ermittlung von Mengen, wie aus CAD-Systemen bereits bekannt, sondern darüber hinaus werden alphanumerische Daten zu den einzelnen Bauteilen wie Materialeigenschaften, Kosten, Termine und dergleichen in das Modell integriert.“ ¹⁶

Auf weitere Begriffsdefinitionen zu angrenzenden Disziplinen und Fachrichtungen wie etwa des Informations- und Datenmanagements, der Mixed Reality oder der Echtzeit- und Sensordaten wird an dieser Stelle verzichtet.

3. Digitaler geoZwilling – ein virtuelles Abbild der Stadt Wien

Das Konzept des Digitalen geoZwillings wurde bereits 2020 veröffentlicht (Lehner und Dorffner, 2020). Ziel dabei war, die Erstellung der Geodaten der Stadtvermessung, losgelöst von bestehenden gewachsenen Systemen und Strukturen, komplett neu durchzudenken. In Lehner und Dorffner, 2020 wird auch die Geschichte und Entwicklung der Geodaten der Stadtvermessung skizziert. Im Wesentlichen hat es in diesem Bereich zwei markante Meilensteine gegeben. Der erste in den 1980er

Jahren war die Entwicklung der Mehrzweckkarte (MZK) (Belada 1994), die im Kern die noch heute in Verwendung befindlichen Hauptinput-Quellen Photogrammetrie und Terrestrische Vermessung zu einem Kartenprodukt kombiniert hat. Der revolutionäre Ansatz damals bestand darin, Vektordaten von Messverfahren unterschiedlicher Genauigkeit zu einer einheitlichen linien-basierten Kartendarstellung zu verarbeiten. Der zweite Meilenstein war etwa 20 Jahre später als 2002 die Entwicklung weiterer Geodatenprodukte gestartet wurde (Dorffner und Zöchling 2004): die Flächenmehrzweckkarte (eine polygonale Aufbereitung der linienbasierten Mehrzweckkarte unterstützte die Nutzung in GIS-Software), das Baukörpermodell (eines durch Zuweisung von Höhenattributen an die Gebäudeflächen erstellten Gebäude-Blockmodells) und ein hybrides Geländemodell.

14) <https://www.drivecon.de/de/lexikon/log>

15) https://www.bimpedia.eu/-/1005-lod-___-level-of-development#block-36

16) <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/BIM-Broschuere.pdf>

Ziel war es, die Input-Datenquellen möglichst mehrfach in verschiedenen Produkten zu verwenden. Für die Erstellung von Gebäudemodellen mit Dachformen wurde ein Ansatz basierend auf zusätzlicher photogrammetrischer Auswertung der Dachlandschaft gewählt. Aufgrund des hohen Ressourcenbedarfs wurden diese Gebäudemodelle nicht flächendeckend, sondern nur für das Stadttinnere, für besondere Gebäude und bei projektbezogenen Anforderungen erstellt. Als flächendeckender Dachmodell Datensatz wurden 2014 und 2015 mit einem halbautomatischen Ansatz generierte einfachere Dachmodelle der ganzen Stadt ergänzt.

Wieder 20 Jahre später – 20 Jahre nach dem zweiten Meilenstein – stehen wir nun vor der nächsten großen Änderung im Bereich der Geodatenproduktion. Im Vergleich zum damaligen Ansatz die gleichen Input-Daten in möglichst vielen Produkten zu verwenden, ist der Kern der Strategie nun diese und potenziell noch weitere Input-Daten auch aus weiteren Messverfahren zur Erstellung von flächendeckenden 3D-Geoobjekten der ganzen Stadt zu verwenden und in einem weiteren Schritt aus diesem Datensatz die bekannten Geodatenprodukte der Stadtvermessung automatisiert abzuleiten. Das Ziel ist also, mehr Ressourcen in die Erstellung, Wartung und Servicierung eines einzigen semantischen, vektorbasierten 3D-Objektbestands zu stecken und die anderen einfacheren oder generalisierten Geodaten daraus abzuleiten. Die Vorteile liegen nicht nur darin, dass nur ein Datensatz und nicht mehrere seriell erstellte Datensätze gepflegt werden müssen, sondern auch, dass für den zentralen 3D-Objektdatensatz und die daraus abgeleiteten Produkte zeitliche und inhaltliche Kohärenz gewährleistet werden kann.

Mit dem Konzept des Digitalen geoZwillings verfolgt die Stadtvermessung Wien somit einen einzigartigen, innovativen Ansatz, zu dem es nach aktuellem Kenntnisstand bis dato weder national noch international vergleichbare Beispiele gibt. Dementsprechend war es nicht oder nur in wenigen Teilbereichen möglich, auf Referenzen zurückzugreifen. In dem PoC wurde daher erarbeitet, ob technische Lösungen für diesen invertierten Ansatz verfügbar sind und das Konzept in weiterer Folge auch produktiv umgesetzt werden kann.

Beim Aufsetzen des Projekts wurde bewusst zwischen nach innen und nach außen gerichteten Projektzielen unterschieden.

Bei den nach innen gerichteten Projektzielen handelt es sich um die notwendigen Bestandteile von der Erstellung des 3D-Objekts bis zur automatisierten Ableitung weiterer Geodatenprodukte:

- Modellierung von semantischen, vektorbasierten 3D-Geoobjekten aller Objekte der Stadt basierend auf 3D-Messdaten (kodierte Punkte und Linien),
- Nutzung von Punktwolken aus unterschiedlichen Technologien in der Modellierung zur Unterstützung bei fehlenden Inhalten in den 3D-Messdaten,
- Entwicklung eines Datenmodells und einer 3D-Objektdatenbank zur Vorhaltung der semantischen 3D-Geoobjekte,
- Konzeption der automatisierten Ableitung von Geodaten aus dem 3D-Objektdatenbestand.

Die Modellierung von flächendeckenden 3D-Geoobjekten hat andere Anforderungen an die Messdaten im Vergleich zu den bisher aus den Messdaten erstellten Geodatenansätzen. Da bewusst auch auf den bestehenden Messdatenschatz der Stadtvermessung aufgebaut werden soll, neue Aufnahme Richtlinien nur bei Neuvermessungen zum Einsatz kommen und ein neuer Standard daher erst langsam über die ganze Stadt aufgebaut werden kann, wurde bei der Modellierung der semantischen, vektorbasierten 3D-Geoobjekte bewusst das zusätzliche Ziel der Nutzung von Punktwolken eingefügt.

Hinsichtlich des Messdatenbestands der Stadtvermessung sei an dieser Stelle erwähnt, dass für diesen Punkt ein parallel laufendes Projekt mit dem Titel “Zentrale Geodatenbank” für Messdaten initiiert wurde. Ziel dieses Projekts ist die Harmonisierung der Objektcodes über alle Messverfahren und Fachbereiche der Stadtvermessung Wien, welche projektbezogene oder flächendeckende Messungen durchführen. Die Grafik in Abbildung 3 skizziert die Vision einer zukünftigen Geodatenlandschaft der Stadtvermessung. In dieser Abbildung sind nicht nur die etablierten Input-Daten aus terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie, sondern bereits zusätzliche Digitalisierung von Objekten aus (ALS-)Punktwolken und Mobile Mapping Systemen (MMS) als auch zukünftig angedachte automatisierte Objektextraktionen aus Künstlicher Intelligenz (KI) oder anderen objektbasierten, automatisierten Bild- und Punktwolke-Analysetechniken vorgesehen.

Bei den nach außen gerichteten Projektzielen handelt es sich um Schnittstellen zu Anwendungs-

Geodatenlandschaft der Stadtvermessung (Vision)

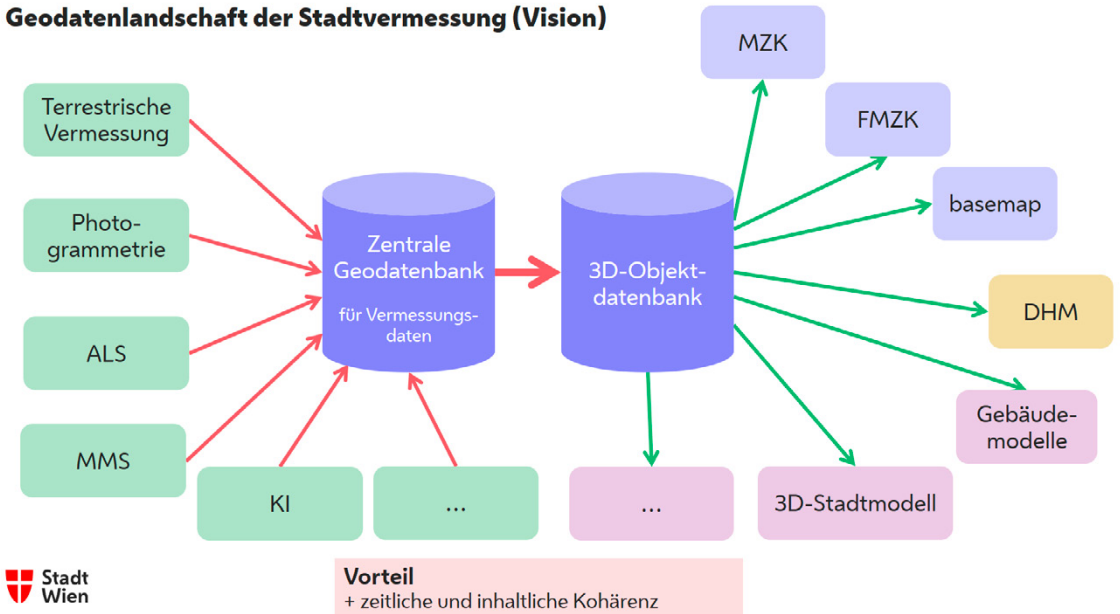


Abb. 3: Vision der Geodatenlandschaft der Stadtvermessung Wien

szenarien eines Digitalen Zwillinges der Stadt Wien. Diese sollten von Beginn an mitgedacht werden, da sie auch Auswirkungen auf den Erstellungs- und Reambulierungsprozess des Digitalen geozwillinges haben können.

- Durch das Ziel, ein semantisches Modell zu erstellen, hat dieses Modell quasi bereits eine Grundintelligenz. In einer großen öffentlichen Verwaltung gibt es für viele Objekte des öffentlichen Raums aber auch darüber hinaus spezialisierte Fachinformationssysteme, die in der Regel zum Zweck des Erhaltungsmanagements oder als Grundlage für Planungsaufgaben geführt werden. Erst die **Verknüpfung von Geodaten mit diesen Fachdaten** schöpft das volle Potenzial eines Stadtinformationsmodells (**City Information Modelling – CIM**) und trägt zur wechselseitigen Qualitätssteigerung der verknüpften Daten bei. Damit trägt diese Anwendung sowohl hinsichtlich des Abbaus von Datensilos durch die Verknüpfung von Geodaten und Fachdaten als auch durch die Qualitätssteigerung der Datensätze wesentlich zur Data Excellence (DX) Strategie der Stadt Wien (siehe Lutz, 2019) bei.
- 3D-Bestandsdaten sind für viele Hoch- und Tiefbauplanungsprozesse erforderlich. Diese sind auch der Grund, warum öffentliche Verwaltungen hoch qualitative Geodaten erstellen

und pflegen. Planungsprozesse laufen, wie eingangs erwähnt (siehe Tabelle 1), mit anderen Konzepten und Methoden ab. Gegenseitiger Nutzen von Bestandsdaten und Planungsdaten gibt es in vielerlei Hinsicht: Bestandsdaten als Grundlage für Planungen, Planungsdaten nach Realisierung als Unterstützung bei der Reambulierung von Bestandsdaten, Analyse und Vergleich von Planungsszenarien im Kontext des umliegenden Bestands, etc.

Aufgrund der Bedeutung dieses Anwendungsfalles wurde ein zweites Projekt mit dem Titel „Digitaler geozwilling – UseCase Planung“ bzw. kurz „**Planungszwilling**“ initiiert. Dieser wird mit einer Fördersumme vom Innovationsmanagement der MA 23 – Magistratsabteilung für Wirtschaft, Arbeit und Statistik der Stadt Wien unterstützt.

- Der dritte Anwendungsfall der **urbanen Simulation** bildet die Klammer über die beiden vorhergenannten. Dabei steht sowohl flächendeckende als auch kleinräumige Analysen und Simulationen sowohl des Bestands als auch im Planungskontext zur Beurteilung und Bewertung von Planungsszenarien im Fokus.

Schwerpunkt dieser Publikation sind die Ergebnisse zum Datenmodell. Ergebnisse anderer Projektziele werden zu gegebener Zeit veröffentlicht. Das erste Projektziel der Modellierung von seman-



Abb. 4: Testgebiet rot umrandet (Quelle: Stadtplan3D Grundkarte – Stadtvermessung Wien)

tischen, vektorbasierten 3D-Geoobjekten aller Objekte der Stadt basierend auf 3D-Messdaten (kodierte Punkte und Linien) unter Einbeziehung von Punktwolken sei daher an dieser Stelle nur kurz vorgestellt. Als Basis dieser Aufgabe wurde eine umfangreiche Studie möglicher Software-Werkzeuge am Markt durchgeführt und basierend auf einem Testgebiet prototypisch umgesetzt.

Für die Erstellung eines PoC wurde ein Testgebiet im dritten Wiener Gemeindebezirk entlang des Donaukanals bei der Stadionbrücke definiert (siehe Abbildung 4).

Das Gebiet ist 0.314 km² groß. Auf der orographisch linken Seite des Donaukanals befinden sich die grünen Ausläufer des Praters und eine Kleingartensiedlung. Auf der orographisch rechten Seite dicht verbautes Siedlungsgebiet mit alten und neuen Wohnanlagen, als auch öffentlicher Nahverkehr mit vielen Gleisanlagen. Bei der Selektion des Gebietes wurde darauf geachtet, dass möglichst viele Stadtobjekte darin enthalten sind. Dazu zählen: Gebäude mit unterschiedlichen Fassaden-, und Dachdetails, eine Brücke, Straßenbahnschienen, diversestes Straßenmobiliar, Stiegen, Gebäudeinnenhöfe, Gewässer, Wald und inhomogenes Gelände (siehe Abbildung 5).

Die auf Basis der kodierten Messdaten und Punktwolken (siehe Abbildung 6) modellierten 3D-Geoobjekte waren die Grundlage für die Entwicklung des Datenmodells.

4. 3D-Modellierung

Bei der Modellierung von 3D-Objekten einer Stadt, können im Wesentlichen zwei unterschiedliche Modellierungsstrategien angewandt werden:

■ Explizite (direkte) Modellierung: Individuelle Geometrie

Hat jedes Objekt einer Klasse individuelle Ausmaße, Gestalt und Form, so wird es in der Regel explizit, also direkt auf Basis der individuellen Vermessung des Objekts erstellt. Das ist



Abb. 5: Schrägluftbildaufnahme eines Ausschnitts des Testgebietes (Quelle: Schrägluftbild 2020 – Stadtvermessung Wien)

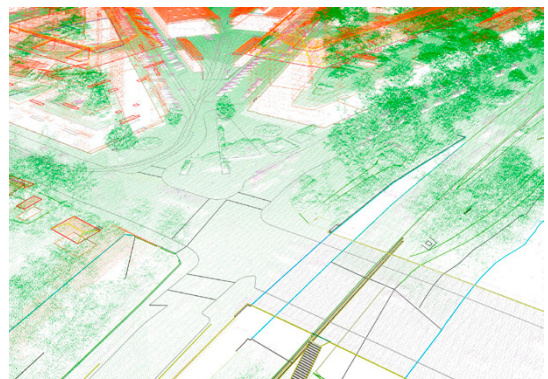


Abb. 6: Darstellung der 3D-Messdaten überlagert mit einer klassifizierten ALS-Punktwolke des Gebiets

klassischerweise bei Gebäuden der Fall. Aber auch bei der Modellierung von semantischen Geländeteilobjekten wie etwa Straßenflächen, Gehsteigen und Wiesenflächen wurde diese Art der Modellierung verwendet.

■ Implizite (indirekte) Modellierung: Implizite Geometrie | Templates | Instanzobjekte

Implizite Modellierung kann dann angewandt werden, wenn eine Objektklasse durch eine gewisse Anzahl von Templates dargestellt werden kann, welche dann z.B. auf Basis von Attributen auf das einzelne Objekt dieser Klasse angepasst, gedreht und skaliert werden. Diese Art der Modellierung wird im Zusammenhang mit 3D-Stadtmodellen sehr oft für die Modellierung von Baummodellen angewandt. In der Regel gibt es hier eine definierte Anzahl von Baum-Templates, die für die Darstellung aller Einzelbäume einer Stadt genutzt werden. Diese Art der Modellierung kann aber auch bei weiteren Objekten der Stadt wie z.B. bei der Modellierung von Straßenmobiliar eingesetzt werden. Im Prinzip handelt es sich hierbei um eine einfache Form der prozeduralen Modellierung. Der große Vorteil dieser Art der Modellierung ist, dass es datenspeicher-technisch eine effiziente Möglichkeit ist, komplexe Templates einmal abzulegen aber unbegrenzt oft zu verwenden. Im Bereich der Planung kann prozedurale Modellierung auch für komplexere Objekte wie Gebäude gut angewandt werden. Für den Zweck der Bestandsmodellierung sind die implizite und die prozedurale Modellierung auf bestimmte Objektklassen beschränkt.

Für diese beiden Modellierungsstrategien werden die in Tabelle 2 angeführten Geometrie-Typen benötigt. Ein Datenmodell und eine 3D-Objekt-datenbank muss also mit allen Geometrie-Typen

und explizit und implizit modellierten Objekten umgehen können.

Stadler und Kolbe (2007) beschreiben räumlich-semantische Kohärenz als Qualitätskriterium für qualitativ hochwertige semantische Modelle. Das bedeutet, dass semantische Information und geometrische Information auf demselben Level der Hierarchie korrelieren müssen. Um das Ziel einer semantischen, vektorbasierten Modellierung des Digitalen geoZwillings erfüllen zu können, muss diese Anforderung durch das Datenmodell und die 3D-Objekt-datenbank realisiert werden können.

5. Datenmodell

Die Entwicklung des Datenmodells des Digitalen geoZwillings wurde basierend auf vorab im Zuge des Projektes definierten Anforderungen umgesetzt. Von besonderer Bedeutung ist die Verwendung von offenen Standards, um die Kompatibilität mit Softwareprodukten und Systemen sicherzustellen und potentielle Technology-Lock-ins weitgehend zu vermeiden. Auch eine zukünftige Integration in die Plattform des Digitalen Zwillings der Stadt Wien sowie die Anbindung von Fach-, wie Realtime- und Internet of Things (IoT) Daten über offene Schnittstellen waren ein ausschlaggebender Faktor bei der Auswahl des Datenmodells.

5.1 CityGML

CityGML ist ein offener, internationaler OGC-Standard zur Vorhaltung als auch zum Austausch von semantischen 3D-Stadtmodellen. Der Standard basiert auf dem GML (Geography Markup Language) Anwendungsschema, einem erweiterbaren, XML-basierten OGC-Standard und ISO TC211 für den Austausch räumlicher Daten (siehe Gröger et al. 2012).

Punkte mit Attributen	als Einsetzpunkte für Instanzobjekte, z.B. Einzelbäume, Masten, Poller, etc.
Linien mit Attributen	als Grundlinie von extrudierten vertikalen Flächen, z.B. Zaun, Geländer, etc.
Flächen (BREP) – Space Boundary	zur Beschreibung von Flächenelementen, z.B. Geländeteilflächen, etc. aber auch zur Beschreibung von Grenzflächen von Volumenobjekten
Volumen – Space	zur Beschreibung von volumenhaften Objekten, z.B. Gebäude, Brücke, Tunnel, Wasserkörper etc.

Tab. 2: Geometrie-Typen zur 3D-Modellierung

Der Bedarf an einem Standard für semantische 3D-Stadtmodelle entstand, da jene in der Vergangenheit meist ein rein geometrisches Modell für Visualisierungszwecke darstellten. Dies impliziert, dass sie für nahezu keine Analysen, Simulationen etc. herangezogen werden konnten.

Die Entwicklung des CityGML-Standards wurde von der SIG 3D initiiert, das Resultat war 2008 der CityGML-Standard in der Version 1.0 (siehe Gröger et al. 2008). Aktuell ist CityGML in der Version 2.0 gültig (siehe Gröger et al. 2012), wobei 2022 CityGML 3.0 Standard vom OGC im Conceptual Model veröffentlicht wurde (siehe Kolbe et al. 2022). Jedoch sind in Version 3.0 noch Encoding Standards für Core und einzelne Module ausständig.

Löwner et. al (2012) beschreiben, dass der Anwendungsbereich von CityGML – da es neben der reinen geometrischen Visualisierung auch die Objektsemantik mitspeichert – reine Visualisierungszwecke übersteigt. So bildet der Standard für Anwender*innen die Grundlage, um 3D-Stadtmodelle für Analysen, Simulationen und Anwendungen einzusetzen. Diese Anwendungsszenarien und Funktionalitäten des Datenmodells unterstützen jene in Kapitel 3 genannten Vorgaben sowie die Vision der Einbettung des Digitalen geoZwillings in einen zukünftigen Digitalen Zwilling der Stadt Wien.

5.1.1 Aufbau

CityGML fungiert zuallererst als konzeptuelles Datenmodell. Der Standard bildet sich aus einem Core und diversen thematischen Modulen für die Gliederung diverser Objektgruppen und dem Appearance Modul zur Abbildung objektspezifischer Farben und Texturen (siehe Abbildung 7).

Zudem ist CityGML neben einem Datenmodell auch ein Austauschformat und ein Datenschema für eine 3D-Objektdatenbank. In jenem Bereich wurde die OpenSource Datenbank 3DCityDB von den Partnern TU München, virtualcitysystems und M.O.S.S. entwickelt, welche auf dem CityGML-Datenschema in seiner jeweiligen Version aufbaut, wobei die Einrichtung einer 3DCityDB sowohl auf PostgreSQL und Oracle Instanzen unterstützt wird.¹⁷

17) <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>

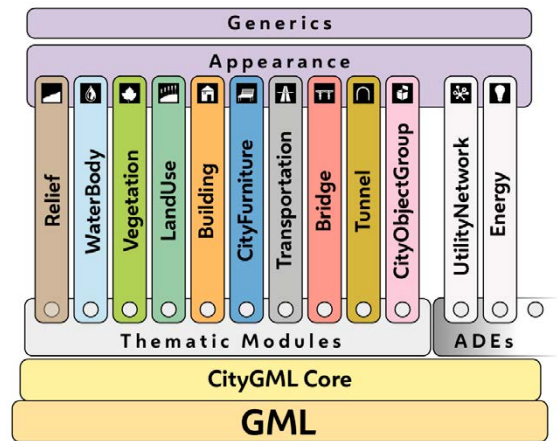


Abb. 7: CityGML 2.0 Thematische Module, abgewandelt nach Löwner et al. 2012

5.1.2 Module, Profile & Application Domain Extension (ADE)

CityGML definiert Klassen und semantische sowie topologische Beziehungen von allen Objekten einer Stadt oder Region. Dies wird in den diversen semantischen Modulen des Standards definiert (siehe Tabelle 3). Die Module selbst gliedern sich in ein CityGML-Basismodul und thematische Erweiterungsmodule (siehe Gröger et al. 2012).

Durch jene Modularisierung des Standards können, je nach Anwendungsbereich, neben dem CityGML Core einzelne, benötigte Module angewandt werden. Somit müssen nicht alle CityGML-Module genutzt werden, um dem Standard gegenüber konform zu sein. Handelt es sich um eine Teilimplementierung einzelner thematischer Erweiterungsmodule, so spricht man von einem CityGML-Profil (siehe Gröger et al. 2012).

Neben der Verwendung von CityGML-Profilen, bietet der CityGML-Standard für die Abbildung spezifischer Anwendungsfälle die Möglichkeit der Erweiterung des Datenmodells durch ADE's. (Application Domain Extensions). Diese erweitern das bestehende CityGML-Datenmodell durch die Ergänzung neuer Eigenschaften bestehender CityGML-Klassen oder durch die Einführung und Spezifizierung neuer Klassen (siehe Gröger et al. 2012).

5.1.3 Konzepte

CityGML als Datenmodell unterstützt die Vorkhaltung von semantischen 3D-Objekten in verschiedenen Detaillierungsstufen. Allgemein ist der Level of Detail (LOD) eines 3D-Objekts sein

CityGML Core (Pflichtmodul)	Relief	WaterBody
Basiskomponenten des CityGML Datenmodells.	Thematische und semantische Abbildung der Erdreliefs durch Raster, TIN, Bruchlinien oder Massenpunkten.	Thematische und semantische Repräsentation von diversen Gewässerobjekten.
Vegetation	LandUse	Building
Thematische und semantische Abbildung des Geländes in Form von Einzelobjekten (z.B. Baum) und Vegetationsflächen (Wald)	Thematische und semantische Abbildung des Geländes mit zugewiesener Landnutzung.	Thematische und semantische Vorhaltung von Gebäude- und Gebäudeteilobjekten
CityFurniture	Transportation	Bridge
Thematische und semantische Repräsentation von Straßenmobiliar, in Form von Modellierungen oder Template-Objekten.	Thematische und semantische Vorhaltung von diversen Transportwegen als Netzwerk oder 3D-Oberfläche.	Thematische und semantische Vorhaltung von Brücken- und Brückenteilobjekten
Tunnel	CityObjectGroup	ADE
Thematische und semantische Vorhaltung von Tunnel- und Tunnelteilobjekten.	Thematische und semantische Sammlung von user-definierten Objekten. (Gruppenkonzept)	Thematische und semantische Erweiterung des CityGML-Datenmodells durch Eigenschaften & CityGML-Klassen.

Tab. 3: CityGML 2.0 Module (siehe Gröger et al. 2012)

primäres Charakteristikum. CityGML 2.0 unterstützt die Vorhaltung von Objekten in fünf Levels of Detail – LOD0 bis LOD4 (siehe Abbildung 8). Der Anstieg der LOD-Stufe impliziert hierbei eine granuliertere geometrische und semantische Definition. Die Notwendigkeit entstand, da modellierte 3D-Objekte je nach Datenverfügbarkeit und Anwendungsbereich in einer unterschiedlichen Detaillierung vorgehalten werden müssen. So ist es möglich, dass ein und dasselbe 3D-Objekt in einem CityGML-Datensatz in verschiedenen LOD-Stufen repräsentiert wird, wodurch jenes für verschiedene Visualisierungsansätze und Analysen eingesetzt werden kann (siehe Gröger et al. 2012).



Abb. 8: LOD-Konzept CityGML 2.0 am Beispiel eines Gebäudes (Biljecki et al, 2016)

LOD0 repräsentiert die planare 2,5D-Darstellung des Footprints von 3D-Objekten, wohingegen LOD1 einen Volumenkörper jener LOD0 Objekte, extrudiert in der Höhe, darstellt (siehe Baukörpermodell). In LOD2 wird bereits eine vereinfachte

Dachformmodellierung und Semantik einzelner Objektbestandteile beschrieben, wobei LOD3 im Vergleich hierzu ein detaillierteres Modell mit modellierten Fassaden- und Dachausprägungen repräsentiert. LOD4 als Endstufe, ergänzt hierzu die Innenraummodellierung, um die Objektmodellierung zu vervollständigen. (Biljecki et al. 2016)

Je nach thematischem Modul können Objekte als **explizite** oder **implizite Geometrie** modelliert werden. Beide Arten der Modellierung können auch unabhängig voneinander in unterschiedlichen LOD-Stufen eines Objekts verwendet werden. Das heißt, die Anforderung der beiden Modellierungsarten ist durch CityGML erfüllt.

Ebenfalls abhängig vom thematischen Modul bzw. auch abhängig von der Größe und Lage eines Objekts kann man als Zusatzinformation zum Objekt auch die **TerrainIntersectionCurve (TIC)**, also die Verschnittlinie des Objekts mit dem Gelände ablegen.

Ein weiteres wichtiges Konzept in CityGML sind **ClosureSurfaces**. Bei diesen Flächen handelt es sich um Flächen, die es in der Realität eigentlich gar nicht gibt und die hauptsächlich dazu verwendet werden, um das Volumen eines Objekts virtuell zu schließen. Diese Art der Flä-

che findet Anwendung z.B. bei der Öffnung eines Tunnels. Hier entspricht die ClosureSurface also der virtuellen Schließfläche, die das Tunnelportal versiegeln würde. Die Begrenzung der Tunnel-ClosureSurface ist dabei durch das Tunnelportal definiert. Eine weitere Anwendung findet sich bei größeren Gewässern. Die WaterClosureSurface entspricht hier allerdings eher der Begrenzung des modellierten Bereichs. Falls also ein Gewässer über den erfassten Bereich hinausgeht, kann an dieser Grenze eine WaterClosureSurface gebildet werden, um das Volumen des modellierten Gewässers zu erfassen. An dieser Stelle ist also auch die Begrenzung der ClosureSurface willkürlich festgelegt und hat keine Repräsentanz in der Natur.

Um Geometrien, die in mehreren Objekten verwendet werden, nicht doppelt speichern zu müssen, verwendet CityGML das Konzept von xLinks aus dem GML-Standard (Gröger et al. 2012). Dabei wird die Geometrie nur bei einem Objekt gespeichert und in dem zweiten Objekt mittels xLink auf die Geometrie im ersten Objekt verwiesen. Bei Gebäudemodellen können damit die thematischen Flächen (Wand, Dach, Boden) mittels xLink auf das Volumen referenziert werden. Weitere Beispiele für die Nutzung von xLinks sind laut Beschreibung im Standard gemeinsame Fassadenflächen von aneinander gebauten Gebäuden bzw. wird im LandUse Modul empfohlen Linienstücke einer Begrenzung zwischen zwei Flächen nur einmal zu speichern und mittels xLink auf das zweite Polygon zu referenzieren. Während das Beispiel der Verlinkung von thematischen Gebäudeflächen zum Gebäudevolumen in der Praxis sehr häufig verwendet wird, werden die anderen beiden im Standard erwähnten Beispiele kaum verwendet. Während diese Art von komplex aufgebauten Datenstrukturen für die Nachführung und Aktualisierung von flächendeckenden semantischen Modellen, wie sie im Digitalen geoZwilling angedacht sind, von Vorteil sind, sind sie für die Abgabe der fertigen Modelle kaum geeignet, da von den meisten Softwareprodukten diese komplexe hierarchische Art der Modellierung nicht gelesen und daher nicht unterstützt wird.

Bei der Befüllung von Attributen gibt es neben Attributfeldern, die abhängig vom Feldtyp (Integer, String, etc.) frei befüllt werden können, auch die Möglichkeit vordefinierte Listen zu hinterlegen. Handelt es sich um eine fix vorgegebene Liste wird sie **Enumeration** bezeichnet. Diese Listen können nicht erweitert werden und Werte, die nicht auf

der Liste enthalten sind, können nicht vergeben werden. **Codelists** auf der anderen Seite enthalten ebenfalls eine vordefinierte Liste an Werten. Diese Listen sind aber flexibler und können auch angepasst werden.

5.1.4 Weiterentwicklung – CityGML 3.0

Im September 2021 wurde CityGML 3.0 Conceptual Mode veröffentlicht (siehe Kolbe et al. 2022), die Encoding Standards der einzelnen Module sind jedoch noch ausständig. Diese werden für eine Unterstützung in Softwareprodukten und die Entwicklung des neuen Datenbankschemas benötigt. Neuerungen umfassen die Überarbeitungen einzelner Module und die Entwicklung neuer Module. Es wurden aber auch grundlegende konzeptuelle Änderungen in manchen Bereichen durchgeführt. Eine weitere nennenswerte Innovation ist, dass 3D-Objekte im CityGML-Standard in verschiedenen Austauschformaten (GML, CityJSON, GeoJSON, Geopackage etc.) encodiert werden können.

Jenes vorher beschriebene LOD-Konzept wurde in CityGML 3.0 komplett revidiert. LOD4 wurde als eigenständiger Level of Detail der Innenraummodellierung aufgelassen, hingegen unterstützt CityGML 3.0 eine Innenraummodellierung in LOD0 bis LOD3 (Kutzner & Kolbe 2018; Löwner et al. 2016).

Das Geometrie-Konzept wurde zum einen stark vereinfacht, aber auch ausgebaut. Es wird nun nur mehr zwischen *Space* und *SpaceBoundary* unterschieden. Ein *Space* ist definiert als Volumen-Objekt, welches von *SpaceBoundaries* umschlossen ist. Im Falle eines Gebäudes kann die Außenhülle durch *SpaceBoundaries* beschrieben werden, während das Gebäudevolumen durch einen *Space* abgebildet ist. Das *Space*-Konzept unterscheidet nun weiter in *logical* und *physical spaces*. Im Zusammenhang mit der Modellierung von Bestandsobjekten kommen die *physical spaces* zum Tragen. *Logical Spaces* erlauben nun aber eine Vielzahl an zusätzlichen Möglichkeiten zur Modellierung von rechtlichen oder technischen 3D-Körpern wie Lichtraumprofilen entlang eines Verkehrsweges oder eines Flächenwidmungsplans. *Physical spaces* können weiter in *occupied spaces* und *unoccupied spaces* unterschieden werden. Volumen-Objekte, die Raum besetzen, z.B. Straßenmobiliar, Baum, Haus, werden durch *occupied spaces* beschrieben während Freiräume wie das Volumen eines Innenraums durch *unoccupied spaces* beschrieben werden.

In einem *unoccupied space* kann man sich also bewegen, in einem *occupied space* nicht. Dieses *Space* Konzept stellt daher eine umfangreiche Erweiterung des bestehenden Standards auf nicht physische Objekte dar (Kutzner et al 2020).

CityGML 3.0 wurde auch noch durch zusätzliche Module erweitert. Das Versioning-Modul ermöglicht es nun auch die "Geschichte" also den zeitlichen Verlauf eines Objekts abzubilden. Dies ist also für eine zeitliche Abbildung von Veränderung des Bestands interessant und ergänzt die vierte Dimension. Die Module Dynamizer und PointCloud spielen für Bestandsmodellierung allerdings im Moment keine besondere Rolle und sind hier daher nur namentlich erwähnt.

5.1.5 Nutzung

Wie bereits in der Einleitung (Kapitel 1) erwähnt, ist CityGML bereits zu Beginn der Entwicklung von 3D-Stadtmodellen entstanden. Damals vorhandene 2D und 2,5D GIS-Datenmodelle waren nicht in der Lage Gebäudemodelle einer Stadt abzubilden. Diese Lücke wurde durch CityGML geschlossen. Dennoch war CityGML bereits in der Fassung 1.0 hinsichtlich der Abbildung anderer Stadtobjekte sehr umfangreich. Abgesehen der thematischen Module für Brücken und Tunnel waren bereits alle Module enthalten, die auch in Version 2.0 und 3.0 abgebildet sind.

Dennoch lag der Fokus zu Beginn der Entwicklung von 3D-Stadtmodellen ganz klar bei den Gebäuden. Dieser Umstand lässt sich dadurch erklären, dass Gebäude eine Stadt am stärksten repräsentieren und somit die prägendste Objektklasse darstellen, wodurch die Gebäudemodelle lange dem Begriff 3D-Stadtmodell gleichgesetzt wurden. Dadurch hat sich sehr viel Software-Entwicklung zu 3D-Stadtmodellen in der Tat primär mit Gebäudemodellen beschäftigt und sehr wenig mit anderen Objektklassen.

Obwohl CityGML so flexibel gehalten ist und, wie bereits in der Einleitung erwähnt, auch historisch gewachsene Geodatenlandschaften unterstützt, das heißt, die Verwaltung vom 2D, 2,5D und 3D Geodaten in einer Datenbank, wurde und wird CityGML auch heute noch hauptsächlich für Gebäudemodelle verwendet. Dies lässt sich auch leicht durch frei verfügbare OGD-Datensätze nachvollziehen. Auf CityGML Wiki¹⁸, Github¹⁹ und der 3D Geoinformation Forschungsgruppe

18) https://www.citygmlwiki.org/index.php?title=Open_Data_Initiatives

19) <https://github.com/OloOcki/awesome-citygml>

der TU Delft²⁰ verlinkte Datensätze von Städten, Regionen oder vereinzelt auch ganzen Staaten enthalten bis auf wenige Ausnahmen ausschließlich Gebäudemodelle. Neben Gebäuden ist laut diesen Referenzlisten manchmal das Gelände in den CityGML Daten enthalten und vereinzelt auch Baummodelle oder Verkehrsflächen. Die Referenzlisten stellen natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit und zeigen auch nicht, ob es nicht frei verfügbare Datensätze gibt, die mehr thematische Module einsetzen. Dennoch erhält man einen guten Eindruck darüber, wo CityGML auch praktisch zum Einsatz kommt.

Klassische 2D und 2,5D Geodaten werden also nach wie vor eher in etablierten GIS-Datenbanken vorgehalten und nur vereinzelt nach CityGML konvertiert. Ein zweiter Grund für die geringe Nutzung anderer thematischer Module ist trotz des 20-jährigen Bestehens von CityGML die mangelnde Unterstützung in großen Softwareprodukten, zumindest abseits des Gebäude-Moduls.

5.2 Digitaler geoZwilling – Datenmodell

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, ist eines der Ziele des Digitalen geoZwillings die zeitlich und inhaltlich kohärente Bereitstellung diverser Geobasisdatenprodukte (siehe Abbildung 3) – dies inkludiert unter anderem die automatisierte Ableitung eines flächendeckenden, geschlossenen Geländemodells. Mit Fokus auf das Schlagwort "geschlossen" impliziert dies, dass der Digitale geoZwilling alle Geoobjekte der Stadt vorhält und die Summe dieser Objekte insgesamt eine geschlossene Oberfläche ergeben muss.

Folgende Anforderungen wurden daher an das Datenmodell gestellt:

- Ablage aller 3D-Geoobjekte der Stadt.
- Geländeobjekte sollen basierend auf ihrer Begrenzung als semantische 3D-Meshes erzeugt werden und bei nicht-ebenen Objekten durch die Nutzung von Bruchkanten und Stützpunkten in der Fläche eine Form erhalten.
- Vertikale Flächen im Gelände bei Stützmauern sollen abgebildet werden.
- Stellen im Gelände, die durch volumenhafte Objekte verdeckt sind, sollen eine virtuelle Schließfläche erhalten um auch beim Ausblenden der Stadtobjekte ein durchgehendes Geländemodell abbilden zu können.

20) <https://3d.bk.tudelft.nl/opendata/opencities/>

- Attribute der originalen Messdaten zu Messgenauigkeit, Messdatum und Datum der letzten Überprüfung sollen aggregiert an die 3D-Objekte angebracht werden.

Basierend auf diesen Anforderungen wurde geprüft, ob und in welcher Art CityGML geeignet ist die Objekte des Digitalen Zwillings vorzuhalten, wo es sinnvoll ist ein Profil von CityGML zu nutzen bzw. auch wo eine Erweiterung mittels **DigitalgeoTwin ADE** erforderlich ist.

Der zum Zeitpunkt der Entwicklung des Datenmodells des Digitalen geoZwillings gültige CityGML-Standard war jener in Version 2.0. Das Datenmodell wurde basierend auf dieser Version entwickelt, da für die Modellierung und Vorhaltung der Geoobjekte sowohl Software- als auch Datenbankunterstützung des Datenmodells zwingend erforderlich sind. Die Weiterentwicklung von CityGML in Version 3.0 ist für den Digitalen geoZwilling sehr interessant, weswegen eine Überführung des für den Digitalen geoZwilling entwickelten Datenmodells in den zukünftigen Standard in der Version 3.0 vorgesehen ist. Zudem wurde von Seite des Consortiums kommuniziert, dass ein verlustfreies Überführen von CityGML 2.0 in 3.0, wenn auch teilweise Adaptierungen im Datenmodell erforderlich sind, möglich sei.

Die folgenden Unterkapitel beschreiben detailliert die auf CityGML basierte Entwicklung des Datenmodells des Digitalen geoZwillings.

5.2.1 LandUse, Transportation & WaterBody

Geländeobjekte im Testgebiet wurden, wie beschrieben, mittels geschlossener 3D-Polylinie und Bruchkanten und Stützpunkten für nicht ebene Geländestücke modelliert und als 3D-Meshes aufbereitet. Die Stützpunkte der Geländeobjekte können dabei aus verschiedenen prozessierten Laserscanning Aufnahmen (ALS, MLS, TLS) stammen oder auch durch diskret vermessene Geländepunkte repräsentiert sein. Es können also auch Fußpunkte anderer Stadtobjekte z.B. Masten als Stützpunkte eines Objekts verwendet werden. In der klassischen hybriden Geländemodellierung werden regelmäßige GRID-Punkte verwendet. Das ist ebenso möglich wie die Nutzung unregelmäßiger Stützpunkte. Unregelmäßige Stützpunkte sind sogar zu bevorzugen, da in diesem Fall nur Stützpunkte eingefügt werden müssen, wo sich die Geländeform tatsächlich ändert. Hinreichend ebene Geländeobjekte können auch ohne Stützpunkte und Bruchkanten erstellt werden. Vertikale

Stützmauern wurden durch vertikale Flächen modelliert.

Das Ziel ist diese 3D-Meshes gemeinsam mit ihrer Semantik in CityGML abzulegen. Da die Geländeobjekte mehrere thematische Module umfassen, wurden sie entsprechend ihrer Semantik auf die Module **LandUse**, **Transportation** und **WaterBody** aufgeteilt (siehe Abbildung 7).

Innerhalb der Transportation-Objekte wurde entsprechend dem CityGML-Standard weiter zwischen **TrafficArea** – also tatsächlichen Verkehrsflächen wie Straßenflächen, Gehsteigflächen, Stiegen, etc. – und **AuxilliaryTrafficArea** – also angrenzenden Flächen wie Verkehrsinseln, etc. – unterschieden. Innerhalb der verschiedenen Module wurde die CityGML class für die Semantik der einzelnen Objekte genutzt. Die Untergliederung in die drei Module als auch die Ablage der meshes als multisurface war bereits durch den CityGML-Standard gedeckt und wurde in dieser Art umgesetzt.

Durch den CityGML-Standard nicht gedeckt war die Anforderung Stellen im Gelände, die durch volumenhafte Objekte verdeckt sind, mittels virtueller Schließfläche zu beschreiben und zu schließen. Um diese virtuellen Flächen ablegen zu können, wurde das Konzept der *ClosureSurfaces* verwendet. Da im LandUse Modul im Standard keine *ClosureSurfaces* definiert sind, wurde mittels der **DigitalgeoTwin ADE** eine eigene **LandUseClosureSurface**-Klasse geschaffen (siehe Abbildung 10).

Topologisch gesehen ist die **LandUseClosureSurface** ein 3D-Mesh, dessen Begrenzung ident zur **TerrainIntersectionCurve** des jeweiligen volumenhaften Stadt-Objekts ist, welches darüber liegt. Eine exakte topologische Modellierung und Verwendung der Messdaten ist also zwingend erforderlich und muss durch die Verarbeitung der Messdaten zu unterschiedlichen Geoobjekten gewährleistet sein. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt der modellierten Geländeteilobjekte aus dem Testgebiet. Die **LandUseClosureSurfaces** sind darin rot dargestellt.

Da es keine genaueren Angaben zur Unterscheidung der LOD-Stufen bei LandUse gibt, wurden die 3D-Meshes als LOD2-multiSurface abgelegt (siehe Abbildung 10).

Anders als in den Modulen LandUse und Transportation wurde der im Testgebiet befindliche Donaukanal durch zwei in der Begrenzung kongruente Flächen modelliert: einer **WaterSurface**

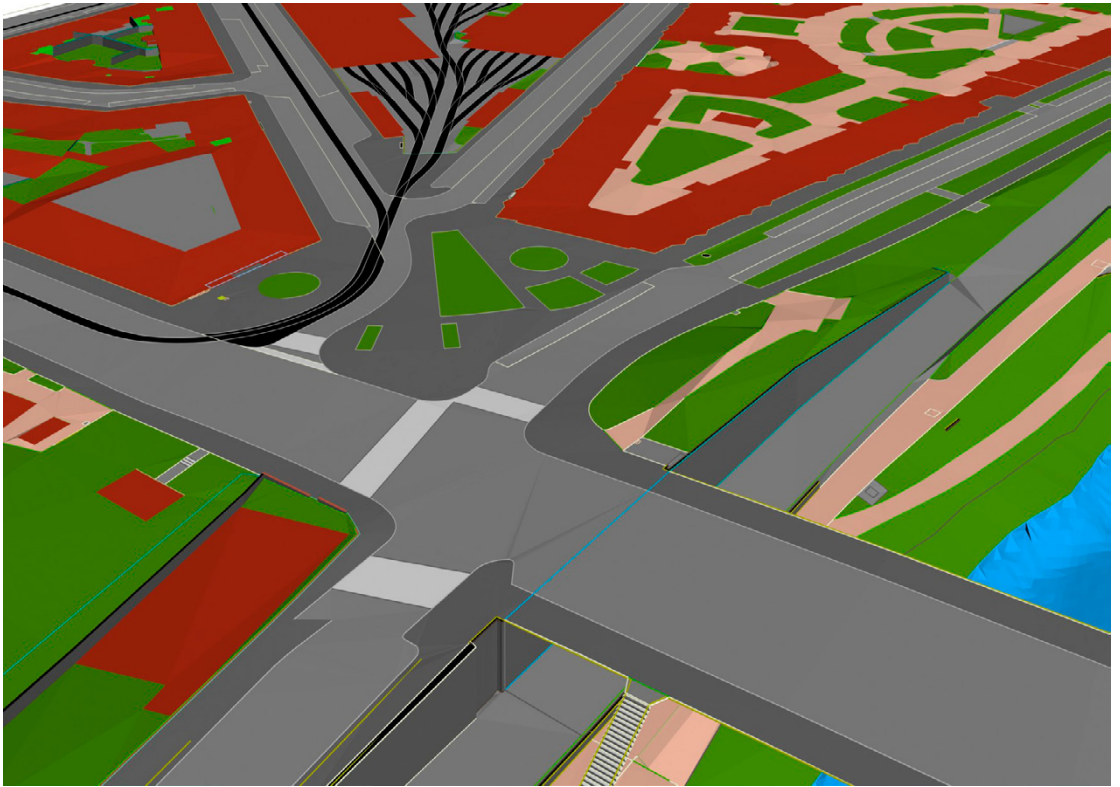


Abb. 9: Modellerte LandUse, Transportation, WaterBody und LandUseClosureSurface Objekte im Testgebiet. LandUseClosureSurface Objekte sind rot dargestellt.

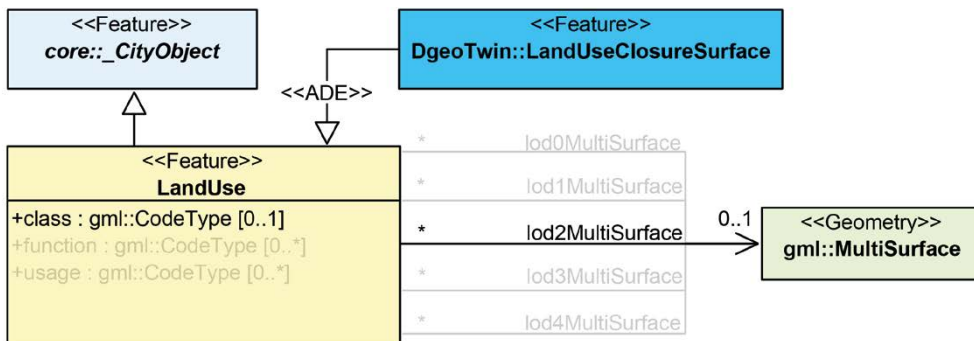


Abb. 10: DigitalgeoTwin Profil und ADE des CityGML Modul LandUse (abgewandelt von Gröger et al. 2012)

für die Wasseroberfläche und einer WaterGroundSurface für das Gewässerbett. Zur Modellierung des Gewässerbetts wurde eine gefilterte und zu einem 1×1 m GRID prozessierte Fächerecholotaufnahme herangezogen. Abgesehen davon, dass gerade bei großen Gewässern das Gewässerbett zwingend notwendig ist, um ein Gesamtbild der Natur abbilden zu können, bringt diese Vorgangs-

weise auch den Vorteil, dass das erstellte Modell auch für hydrologische Anwendungen geeignet ist.

Wie in Kapitel 5.1.3 erwähnt, ist im WaterBody Modul eine WaterClosureSurface vorgesehen, um das Gewässer an der Grenze des modellierten Bereichs schließen zu können. Diese wurden auch im Testgebiet für den Abschluss des Donaukanals

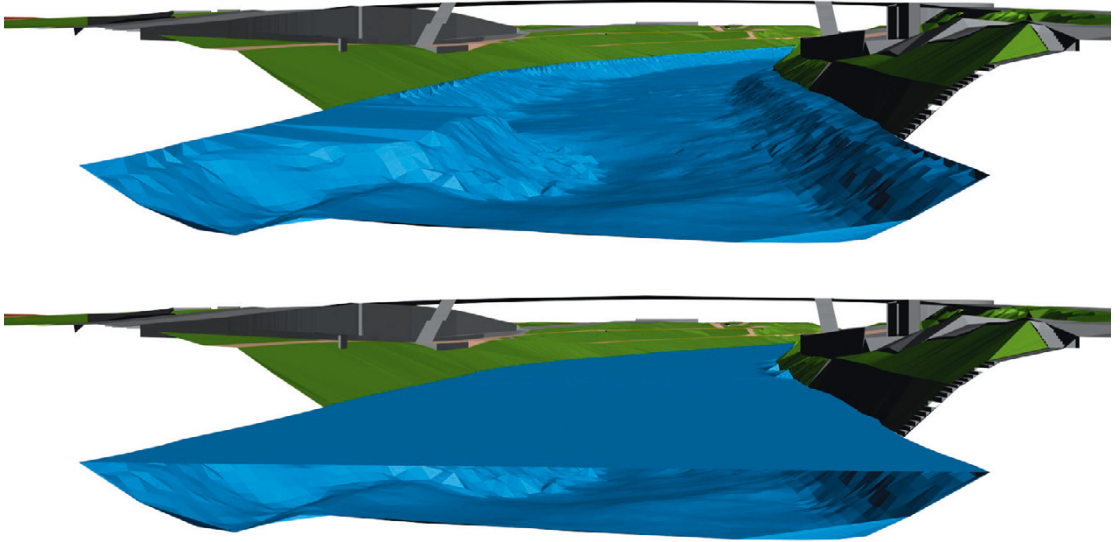


Abb. 11: Modellierter Donaukanal (WaterBody) im Testgebiet: (oben) WaterGroundSurface, (unten) WaterGroundSurface und WaterSurface

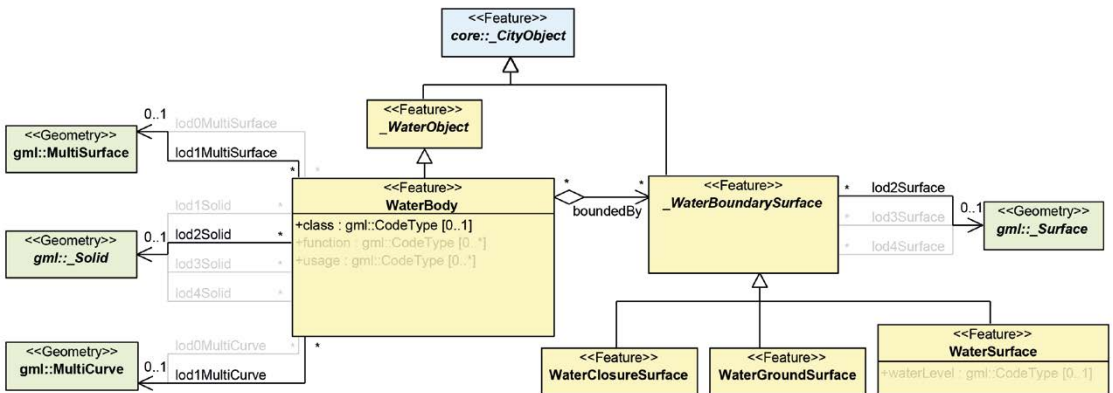


Abb. 12: DigitalgeoTwin Profil des CityGML Modul WaterBody (abgewandelt von Gröger et al. 2012)

verwendet. In Abbildung 11 ist die WaterClosureSurface nicht dargestellt um die Sicht in das Innere des Gewässerkörpers nicht zu behindern.

Zur Modellierung von 3D-Gewässervolumen sind Daten des Gewässerbetts erforderlich, welche nur für größere Gewässer in Wien vorliegen. Neben Echolotaufnahmen können dazu auch Profilmessungen herangezogen werden. Kleinere Gewässerflächen oder Flussverläufe ohne Gewässerbett-daten werden als LOD1 MultiSurface und Bachverläufe ohne flächenhafte Ausdehnung als LOD1 MultiCurve modelliert (siehe Abbildung 12). Objekte dieser Art waren im Testgebiet aber nicht vorhanden.

Alle Geländeteilobjekte wurden also explizit mittels BREP modelliert. Im Fall des Donaukanals wurden zwei Flächen (WaterSurface und WaterGroundSurface) mit kongruenter Begrenzungslinie explizit mittels BREP modelliert und mit einer WaterClosureSurface zu einem Volumen geschlossen.

Um eine Information über den Versiegelungsstatus (SurfaceSealing) bei den Geländeteilobjekten ablegen zu können wurde mittels DigitalgeoTwin ADE ein zusätzliches Attribut definiert, welches mittels codelist SurfaceSealingTypeValue befüllt werden kann. Da dieses Attribut für alle drei Module LandUse, Transportation und WaterBody

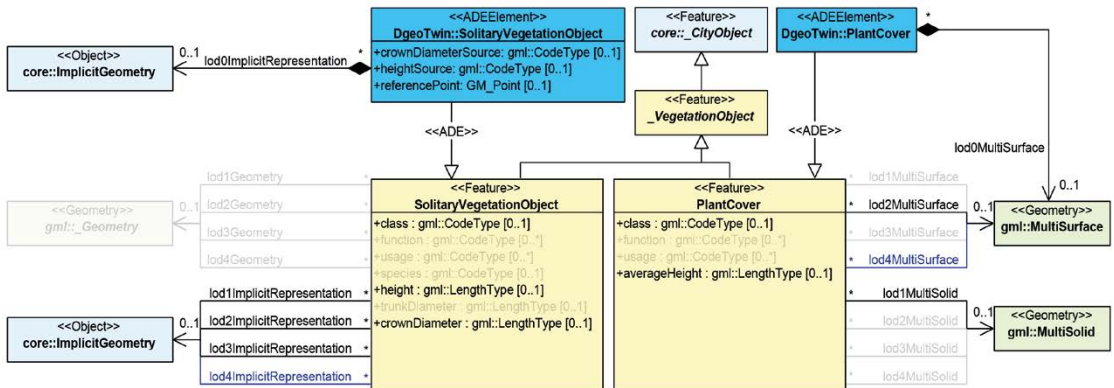


Abb. 13: DigitalgeoTwin Profil und ADE des CityGML Modul Vegetation (abgewandelt von Gröger et al. 2012)

zur Verfügung stehen soll, wurde es nicht in den einzelnen Modulen, sondern im Core-Modul definiert (siehe Kapitel 5.2.4 bzw. Abbildung 21).

Das Relief Modul, welches laut Definition im CityGML-Standard (siehe Tabelle 3) für die Geländerepräsentation herangezogen wird, ermöglicht nur die Ablage des Geländes als 2,5D-TIN, Raster, Bruchlinien und/oder Massenpunkte. Die Besonderheit der Vorgehensweise im Projekt Digitaler geoZwilling liegt darin, dass echte vertikale Wände und Begrenzungen intendiert werden. Daher wurde der Ansatz gewählt, das Gelände voll dreidimensional durch die genannten drei Module und die DigitalgeoTwin ADE abzubilden. Das CityGML-Modul Relief wird somit für das Datenmodell des Digitalen geoZwillings nicht herangezogen.

5.2.2 Vegetation & City Furniture

Bei den Modulen Vegetation und CityFurniture (siehe Abbildung 7) wurde sowohl mit impliziter als auch expliziter Modellierung gearbeitet. Gemein haben alle Objekte dieser beiden Klassen, dass sie aus den zugrundeliegenden Messdaten automatisiert erstellt wurden.

Das Modul **Vegetation** des Digitalen geoZwillings lässt sich in seiner Datenmodellierung in zwei Gruppen gliedern: Einzelbäume (SolitaryVegetation) und Baum- und Buschgruppen (PlantCover).

Einzelbäume (SolitaryVegetation) können laut CityGML-Standard entweder als explizite, individuell erstellte Geometrie oder implizit mittels Template-Objekten abgebildet werden (siehe Abbildung 13). Die Erfassung individueller Baumgeometrien ist somit möglich, wird in der Regel aufgrund des hohen Aufwands aber nicht durchgeführt. In den Messdaten sind Einzelbäume als

Punktobjekte mit Attributen definiert. Im Digitalen geoZwilling wurden Einzelbäume unter Nutzung dieser Informationen mittels impliziter Modellierung in unterschiedlichen LOD-Stufen umgesetzt.

CityGML class wurde genutzt, um zwischen den zwei in den Messdaten attributiv gekennzeichneten Klassen Laubbaum und Nadelbaum zu unterscheiden. Für beide Klassen wurden Templates in verschiedenen LOD-Stufen hinterlegt. Die Eigenschaften height und crownDiameter wurden genutzt, um die Skalierung des Template-Baums für den jeweiligen Einzelbaum festzulegen. Metadaten zur Herkunft der beiden Eigenschaften (crownDiameterSource|heightSource) wurden mittels DigitalgeoTwin ADE ergänzt. Zusätzlich wurde die 3D-Punktcoordinate der Baumpositionen als Attribut solitaryVegetationObjectReferencePoint mittels DigitalgeoTwin ADE im Modul Vegetation hinzugefügt. Hinsichtlich der Geometrie wurden folgende ImplicitGeometry Objekte (Template-Geometrien) für die unterschiedlichen LOD-Stufen eingesetzt (siehe Abbildung 14).

- LOD0: ebene Fläche (footprint) des Baums als MultiSurface skaliert mit dem Durchmesser des Baums (crownDiameter).
- LOD1: Ein extrudiertes Volumenobjekt als Solid skaliert mit Durchmesser und Höhe des Baums.
- LOD2: ein einfacher Visualisierungsbaum bestehend aus mehreren gekreuzten Schnittflächen durch den Template-Baum.
- LOD3: eine 3D-Volumengeometrie für einen Baum als MultiSolid bestehend aus einem vereinfachten Baumstamm und einer vereinfachten Baumkrone.



Abb. 14: LOD Definition Einzelbaumobjekte Digitaler geoZwilling am Beispiel Laubbaum

Neben den Einzelbaumobjekten enthält das Modul Vegetation auch Baum- und Buschgruppen. Wie bereits angemerkt, handelt es sich hierbei um eine Sammlung von Vegetationsobjekten, welche als Polygeometrie ausgewertet wurden und keine Einzelobjektposition vorweisen. Diese Objekte wurden im CityGML-Feature PlantCover definiert (siehe Abbildung 13). Auch in diesem Fall wurde parallel zu den Einzelbaumobjekten über die CityGML-Eigenschaft class via codelist zwischen den beiden Vegetationsgruppen unterschieden.

Die PlantCover Objekte wurden, mit Bezug auf das Multi-LOD-Konzept von CityGML, sowohl als LOD0 MultiSurface, LOD1 MultiSolid und auch LOD2 MultiSurface definiert.

- LOD0 MultiSurface wurde durch die ebene Fläche (Footprint) der Baum- oder Gebüschgruppe dargestellt.
- Im LOD1 MultiSolid wurde die geschlossene Geometrie der Vegetationsgruppen mit einer Durchschnittshöhe des normalisierten Oberflächenmodells des jeweiligen Vegetationsbereichs erstellt.
- Das LOD2 MultiSurface hingegen enthält die Geometrie des für den jeweiligen Vegetationsbereich ausgestanzten Oberflächenmodells.

Abbildung 15 zeigt die Modellierung der Geoobjekte des Vegetationsmoduls.

CityGML 2.0 sieht keine Ablage von LOD0 Geometrien für Vegetationsobjekte vor. Diese müssten also via ADE ergänzt werden. Im Zuge des PoC wurde festgestellt, dass die 3DcityDB derzeit ADE-Inhalte, welche ImplicitGeometries verwenden, nicht unterstützt. Lod0ImplicitRepresentation (siehe Abbildung 13) konnte daher nicht mittels ADE ergänzt werden. Da die LOD4 Ebene im Konzept des Digitalen geoZwilling ungenutzt ist, wurde sie als Übergangslösung für die Ablage der LOD0 Daten der ImplicitGeometries der Ein-

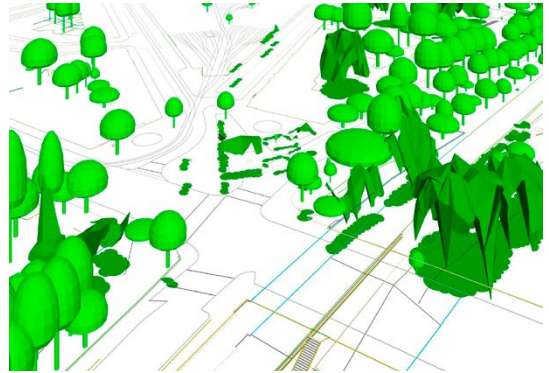


Abb. 15: Modellerte Vegetationsobjekte im Testgebiet (Einzelbaum und Baum- bzw. Gebüschgruppe)

zelbäume als auch der MultiSurface der Vegetationsflächen verwendet.

Stadtmobiliarobjekte wurden im Modul **CityFurniture** abgelegt. In den bearbeiteten Messdaten sind Stadtmobiliarobjekte durch Punkt-, Linien- oder Flächenelemente repräsentiert. Hinsichtlich der Semantik wurde sowohl das class als auch function Attribut im CityFurniture Modul verwendet.

Um implizite oder explizite 3D-Geometrien in der richtigen Dimension erstellen zu können, wurden zusätzliche Attribute height, diameter und azimuth in der **DigitalgeoTwin** ADE definiert (siehe Abbildung 16). Außerdem wird, parallel zur **DigitalgeoTwin** ADE für das Vegetations-Modul, der ursprüngliche 3D-Punkt des Straßenmobiliarobjektes als cityFurnitureReferencePoint abgelegt.

Abhängig von der Grundgeometrie wurden die Stadtmobiliarobjekte unterschiedlich weiterverarbeitet (siehe Abbildung 16):

- Für punktbasierte Objekte wurden sehr einfache Template-Geometrien wie Zylinder oder Quader (Solid) und Flächen (Surface) als lod1Implicit-Representation der unterschiedlichen Objekte definiert. Eine Erweiterung um komplexere 3D-Templates ist in Zukunft möglich. Die Templates wurden entsprechend ihrer Parameter (diameter und height) skaliert.

Die volumenhaften Templates kommen bei Objekten wie Masten, Poller, etc. zum Einsatz. Die flächenhaften Templates finden bei punktförmigen Einbauten wie Kanaldeckel Anwendung.

- Linienbasierte Objekte, bei welchen es sich in der Natur beispielsweise um Zäune oder Geländer handelt, wurden als LOD1 MultiSurface definiert. Objekte dieser Kategorie werden im

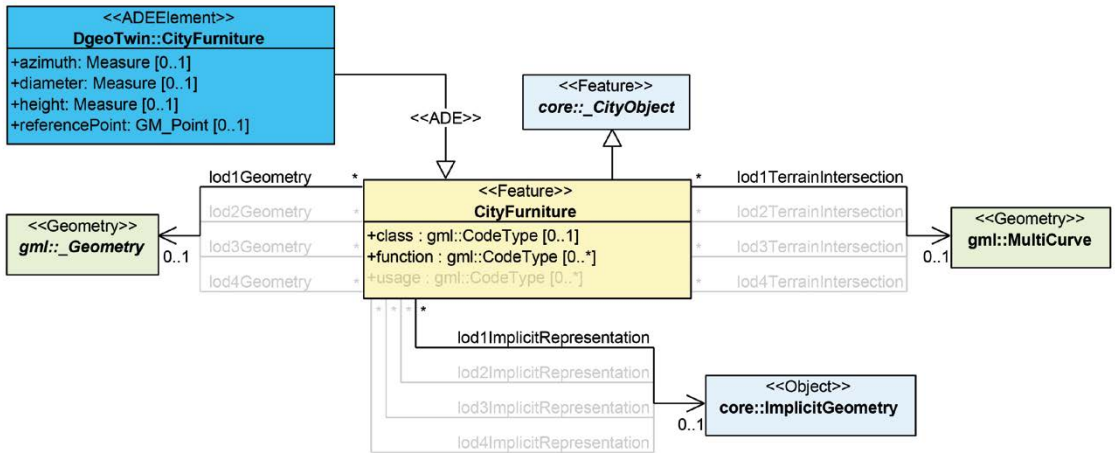


Abb. 16: DigitalgeoTwin Profil und ADE des CityGML Modul CityFurniture (abgewandelt von Gröger et al. 2012)

Fall einer terrestrischen Aufnahme unten am Gelände und im Fall einer photogrammetrischen Aufnahme oben aufgenommen. Abhängig von der Messmethode werden die linienbasierten Objekte daher mittels Default-Werten nach oben oder nach unten extrudiert.

- Im Fall von flächenbasierten Objekten wie Telefonzellen wurde die vermessene Grundlinie als lod1TerrainIntersection abgelegt. In einem zweiten Schritt wurde die Fläche auf dem niedrigsten Punkt des Polygons zu einer horizontalen Fläche verebnet. Diese Grundfläche kann – falls vorhanden – mittels height-Attribut oder alternativ mittels Default-Werten pro Objektklasse zu einem lod1MultiSolid extrudiert werden.

Abbildung 17 zeigt einen Ausschnitt der modellierten CityFurniture-Objekte aus dem Testgebiet.

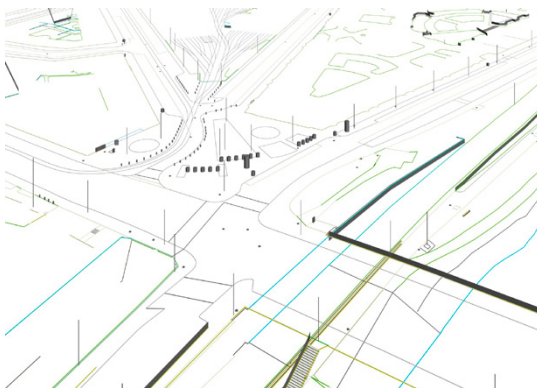


Abb. 17: Modellierte CityFurniture-Objekte im Testgebiet

5.2.3 Building, Bridge & Tunnel

Die letzte behandelte Gruppe an Objektklassen betrifft die explizit modellierten Volumenobjekte der Klassen Building, Bridge und Tunnel (siehe Abbildung 7).

Eine ausführliche Studie der Gebäude-LODs und der horizontalen und vertikalen geometrischen Referenzen für den Digitalen geoZwilling wurde bereits veröffentlicht (Lehner und Dorfner, 2020). Die Studie baut auf den Arbeiten von Biljecki et al. 2016 auf. Zur Abbildung von überbauten Gebäudevolumen, das heißt Luftvolumen, die in das Gebäude hineinragen (z.B. überbauter Eingangsbereich, Durchfahrt, Arkadengang, etc.) oder Gebäudevolumen, die aus der Fassade herausragen (z.B. Erker) wurden die verbesserten LOD-Spezifikationen für Gebäude um die Ebene x.4 erweitert. Die horizontalen und vertikalen geometrischen Referenzen nach Biljecki et al. 2016b beschreiben auf welche Höhenpunkte oder Grundrisse die Modelle beziehen. Den einzelnen Referenzen wurden Kennwerte H(0-6) für die Höhenwerte und F(0,d,1) für die Grundrisse zugewiesen. Ein LOD1 Blockmodell kann z.B. bis zur Höhe der Dachkante (H0), der Traufe (H1) oder des Dachfirsts (H5) beziehen. Der Grundriss eines Gebäudemodells kann sich auf die bebaute Fläche (F0), die projizierte Dachfläche (F1) oder eine um einen Offset reduzierte projizierte Dachfläche (Fd) beziehen. Biljecki et al. 2016b argumentiert, dass diese Metadaten zu Gebäudemodellen oftmals fehlen, für die Anwendung von Gebäudemodellen in Analysen und Simulationen aber wichtig sind, da sie z.B. das Volumen eines Gebäudemodells

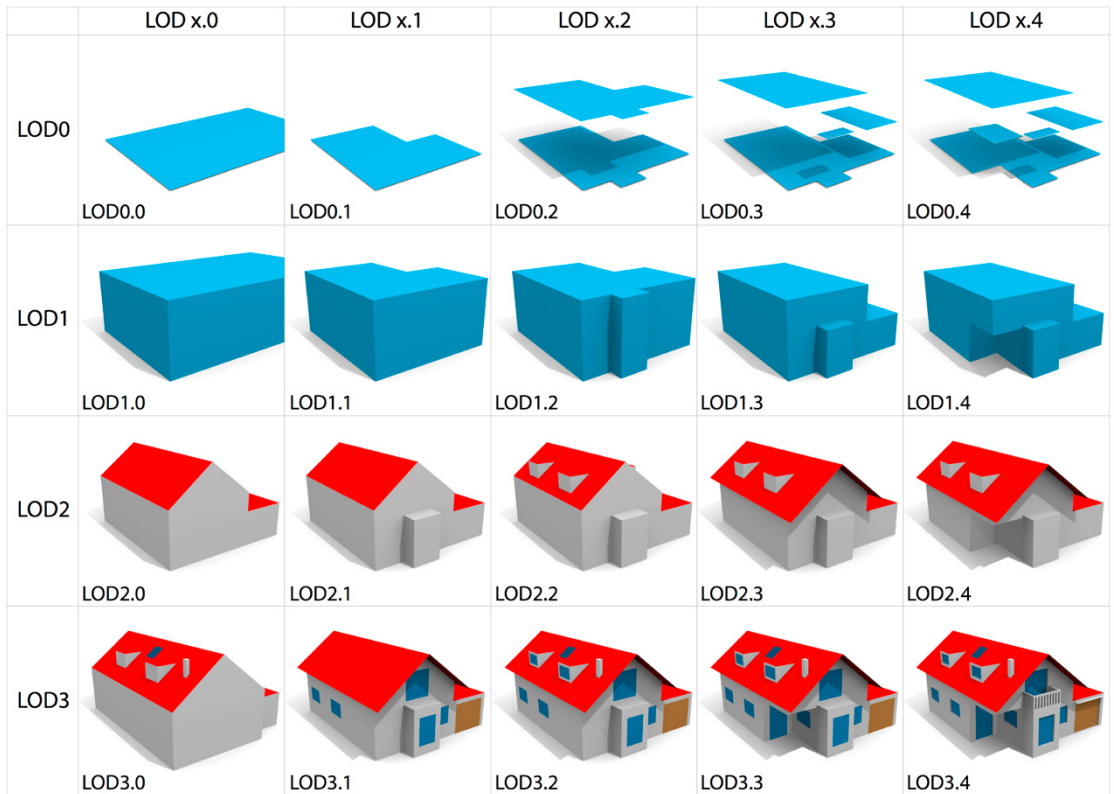


Abb. 18: Untergliedertes Building LOD-Konzept (siehe Lehner und Dorffner, 2020 Weiterentwicklung von Biljecki et al. 2016)

wesentlich verändern und daher angegeben werden sollten.

Als Ziel für den Digitalen geoZwilling wurde LOD2.4 mit horizontaler geometrischer Referenz F0, das entspricht der tatsächlich bebauten Fläche, definiert (siehe Abbildung 18).

Für die Entstehung der 3D-Gebäudemodelle werden die ausgewerteten und kodierten Linien der terrestrischen und photogrammetrischen Vermessung durch Messungen aus Befahrungsdaten ergänzt. Wie eingangs erwähnt, werden in bestimmten Bereichen Punktwolken zur Unterstützung verwendet. Dies spielt zum Beispiel bei der Erkennung der Verschnittlinie von Gebäude und Gelände in Innenhöfen eine Rolle. Im ersten Schritt erhält man ein detailliertes, semantisches Liniengerüst, welches nach einer topologischen Bearbeitung regelbasiert und größtenteils automatisiert zu thematischen Gebäudeflächen (RoofSurface, WallSurface, OuterFloorSurface, GroundSurface, etc.) übersetzt wird. Diese thematischen Gebäudeflächen umschließen zusammen das Gebäudevolumen.

Die grundsätzliche Überlegung ist, durch das Weglassen von Details und Generalisierung der Geometrie, niedrigere LODs automatisiert abzuleiten. Lässt man beispielsweise die Dachdetails und den Dachüberhang bei einem LOD2.4 Gebäude weg, erhält man ein LOD2.1 Gebäude. Bildet man aus einem Gebäudeteil mit einer bestimmten Dachform eine planare Fläche auf der Höhe der Traufe, der mittleren Dachhöhe oder der Firsthöhe, ergibt sich ein LOD1.4 Gebäude mit unterschiedlicher vertikaler geometrischer Referenz (siehe Lehner und Dorffner, 2020, Biljecki et al. 2016). Stellt man von diesem Modell nur die horizontalen Flächen und kein Volumen mehr dar, reduziert es sich zu einem LOD0.4 Modell. Berechnet man für diese Flächen ein umschließendes ebenes Rechteck entsteht ein LOD0.1 Grundriss. Abhängig von der konkreten Anforderung kann man also eine Vielzahl einfacherer Gebäudemodelle ableiten. Dennoch ist die LOD2.4 Stufe auch ein gutes Grundlagemodell für eine weitere Detaillierung. Durch Integration von Fenstern und Türen und weiterer Dachdetails entsteht ein LOD3.3 oder

LOD3.4 Modell. Das Building Modul von CityGML sieht pro LOD-Stufe nur ein Modell vor. Es können daher nicht beliebig viele LOD-Stufen im Building Modul abgelegt werden. Eine Vorprozessierung einfacherer LOD-Stufen und Ablage im Building Modul macht dennoch Sinn, da diese dann ohne weitere Prozessierung jederzeit zur Verfügung stehen. Welche einfacheren und generalisierten LOD-Stufen neben dem LOD2.4 Modell im Building Modul abgelegt werden sollen, wurde im Rahmen des PoC noch nicht festgelegt und ist für den Digitalen geoZwilling noch zu spezifizieren.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die TerrainIntersection der Gebäudemodelle kongruent zur Begrenzungslinie der jeweiligen LandUseClosureSurface sein muss und damit die topologische Verbindung zwischen dem LandUse und dem Building Modul darstellt.

Dem Tunnel Modul wurde im PoC weniger Beachtung geschenkt, zumal kein Tunnel im Testgebiet vorhanden ist. Jedoch gab es diesbezüglich theoretische Überlegungen, vor allem hinsichtlich der virtuellen Schließflächen der Tunnelleingänge. Wie in Kapitel 5.1.3 erwähnt, ist im Tunnel Modul eine TunnelClosureSurface vorgesehen, um ein geschlossenes, wasserdichtes Tunnel-Volumen erstellen zu können. Diese Fläche ist ident zur LandUseClosureSurface des Tunnels und kann daher mittels xLink auf die TunnelClosureSurface referenziert werden.

Die im Testgebiet liegende Stadionbrücke wurde im Bridge Modul abgelegt. Hier gilt analog zum Building Modul, dass die TerrainIntersection der

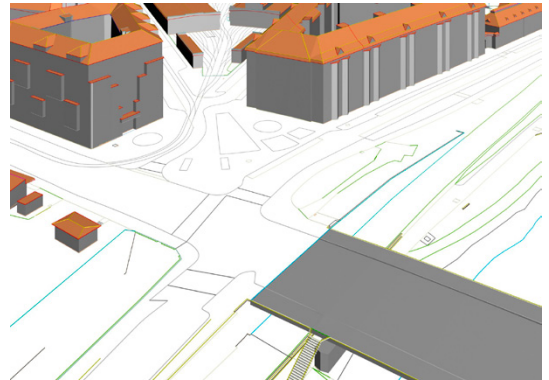


Abb. 19: Modellerte Building- und Bridge-Objekte im Testgebiet

Brücke die Begrenzung der LandUseClosureSurface an der jeweiligen Stelle darstellt.

Abbildung 19 zeigt einen Ausschnitt der modellierten LOD2.4 Gebäudemodelle und der Stadionbrücke aus dem Testgebiet.

5.2.4 Core

Das CityGML Core-Modul umfasst die Basis-komponenten des CityGML Datenmodells (siehe Tabelle 3 bzw. Abbildung 20).

Das Core-Modul enthält auch einige über alle Module hinweg definierte Attributfelder, wie z.B. RelativeToTerrainType oder RelativeToWaterType, welche (optional) genutzt werden können, um die vertikale Beziehung eines Objekts zu Gelände und Wasserfläche abzulegen. In diesem Zusammenhang wäre eine Erweiterung um das Attribut +isTerrain wünschenswert um Objekten in LandUse,

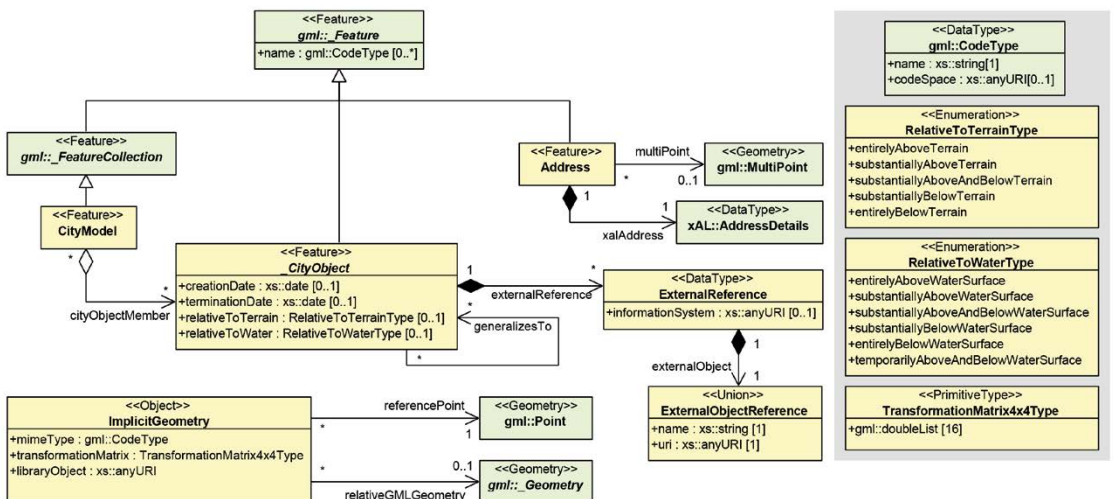


Abb. 20: UML-Diagramm des Core-Moduls in CityGML 2.0 (siehe Gröger et al. 2012)

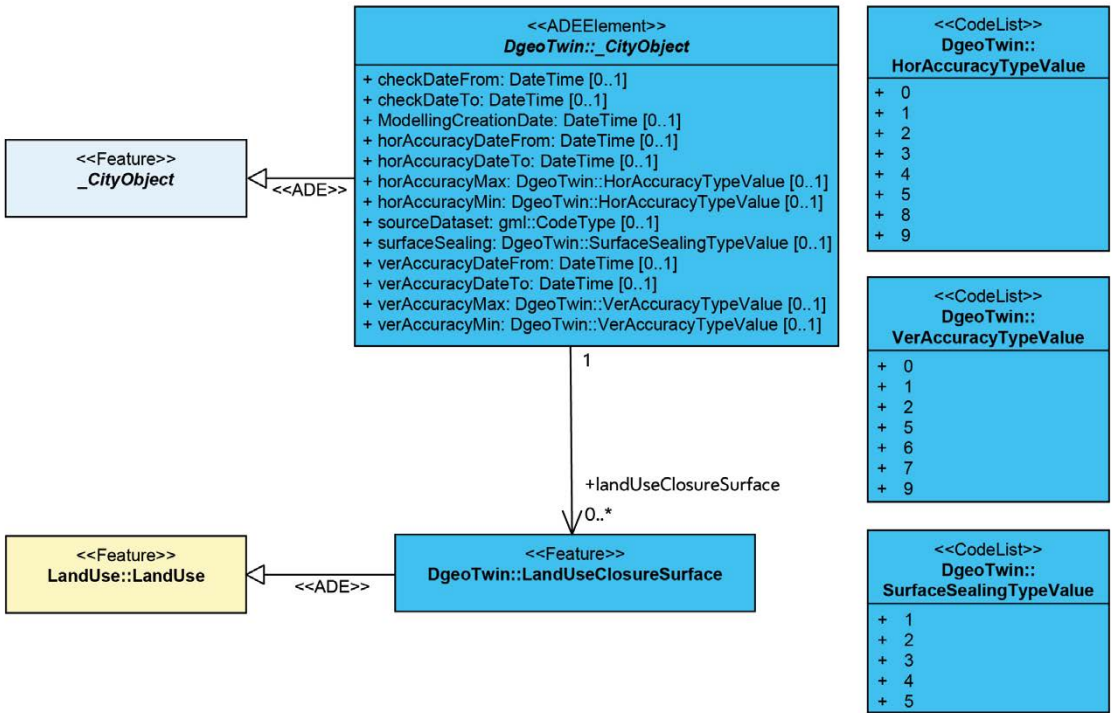


Abb. 21: DigitalgeoTwin ADE des CityGML Core Modul

Transportation und WaterBody, die das Gelände darstellen, entsprechend attributieren zu können. Da es sich bei dem Attribut RelativeToTerrainType allerdings um eine Enumeration handelt (siehe Kapitel 5.1.3), kann die Liste an Werten nicht geändert werden zumal der Wert +isTerrain in der Liste auch semantisch nicht ganz korrekt wäre. Bei einer Weiterentwicklung der *DigitalgeoTwin* ADE könnte +isTerrain als Zusatzattribut der CityObject Klasse hinzugefügt werden. Alternativ kann die Erweiterung der aktuellen Version des Standards um ein Zusatzattribut +isTerrain im Zuge eines ChangeRequest bei der CityGML StandardWorkingGroup bei OGC eingebracht werden.

Um den Informationsgrad (Level of Information, LOI) der Objekte hinsichtlich zeitlicher und geometrischer Qualitätsangaben erweitern zu können, wurden im Zuge der *DigitalgeoTwin* ADE Attribute im Core Modul ergänzt (siehe Abbildung 21), welche relevante Metadaten-Informationen aus den Ursprungsdaten (Messpunkten und -linien) zu Vermessungsart, Herkunft und Genauigkeit für jedes 3D-Geoobjekten separat aggregiert. Teile dieser Attribute werden über definierte Codelists befüllt. Hinter den Integerwerten der Codelists (siehe Abbildung 21) stehen über Lookup-Tabellen (LUT) konkrete Werte oder Bezeichnungen.

Die zeitlichen Qualitätsangaben betreffen den Zeitraum der Vermessung getrennt nach Höhe (verAccuracyDateFrom, verAccuracyDateTo) und Lage (horAccuracyDateFrom, horAccuracyDateTo). In der Regel werden Höhe und Lage gleichzeitig aufgenommen. Dennoch kann es auch vorkommen, dass Höhe und Lage durch unterschiedliche Messverfahren getrennt aufgenommen werden und daher auch zeitlich getrennt gemessen werden. Weitere zeitliche Qualitätsangaben betreffen den Zeitraum der letzten Überprüfung der Messdaten (CheckDateFrom, CheckDateTo) und schließlich den Zeitpunkt der Modellierung der 3D-Geoobjekte (ModellingCreationDate).

Die geometrischen Qualitätsangaben betreffen den Level of Accuracy (LOA). Auch hier wurden Genauigkeitsbereiche angegeben, da ein Objekt aus Messdaten, die durch mehrere Messverfahren aufgenommen wurden, erstellt werden kann. Die Angaben sind ebenfalls in Höhe (verAccuracyMin, verAccuracyMax) und Lage (horAccuracyMin, horAccuracyMax) getrennt. Die unterschiedliche Höhen- und Lagemessgenauigkeit der eingesetzten Messverfahren ist dabei berücksichtigt.

Das Attribut SurfaceSealing wurde für die Module LandUse, Transportation und WaterBody definiert (siehe Kapitel 5.2.4).

6. Zusammenfassung und Ergebnis

Eine Großstadt zu managen und für die Zukunft weiterzuentwickeln ist eine große Herausforderung. Deshalb beschäftigen sich aktuell viele Stadtverwaltungen mit dem Thema eines Digitalen Zwillinges der Stadt, um diese Herausforderung in Zukunft besser meistern zu können. Die Herangehensweisen sind dabei durchaus sehr unterschiedlich und abhängig davon, welche Anwendungsfälle beim Aufbau einer Infrastruktur für einen Digitalen Stadtzwilling im Fokus stehen. Geodaten spielen als Grundlage jedoch immer eine Rolle.

Genau mit dem Aspekt zukünftiger Geodaten beschäftigt sich das Projekt Digitaler geoZwilling der Stadtvermessung Wien. Ziel ist ein semantisches, vektorbasiertes Modell der ganzen Stadt und aller Objekte darin, welches durch Semantik bereits über eine gewisse "Intelligenz" verfügt und als geometrische Grundlage für den Aufbau eines Digitalen Zwillinges der Stadt Wien dienen soll. Ein Teilaspekt des Projekts war die Auseinandersetzung mit verfügbaren Datenmodellen und der Frage, ob CityGML als offener, unabhängiger OGC Standard geeignet ist den Digitalen geoZwilling abzubilden.

CityGML bietet viele Möglichkeiten und ermöglicht auch die Nutzung historisch gewachsener, konventionell (=getrennt) erstellter Datensätze. Nach intensiver Auseinandersetzung mit CityGML kann die eingangs gestellte Frage mit "ja" beantwortet werden. Alle Objekte des Digitalen geoZwillinges können in CityGML verwaltet und vorgehalten werden. Unterschiedliche Modellierungsstrategien sowohl von explizit modellierten Flächen (BREP) und Volumen (Spaces), als auch implizit mittels skaliertes Templates, werden unterstützt. Ein Profil für den Digitalen geoZwilling wurde definiert, um den Standard auf die genutzten Module und Attribute einzuschränken (siehe Abbildung 22). Mittels der eigens entwickelten *DigitalgeoTwin* ADE (siehe Abbildung 22) wurden zusätzliche Attribute definiert und eine zusätzliche Objektklasse *LandUseClosureSurface* eingeführt, welche das bestehende Konzept der *ClosureSurfaces* verwendet und vor allem dafür relevant ist, später aus dem Digitalen geoZwilling andere Geodaten wie ein Geländemodell oder eine Stadtkarte automatisiert ableiten zu können.

Das Relief Modul wird im DigitalgeoTwin Profil aktuell nicht verwendet, da das Gelände durch einzelne Geländeteilobjekte der Module *LandUse*, *Transportation* und *WaterBody* und die in der

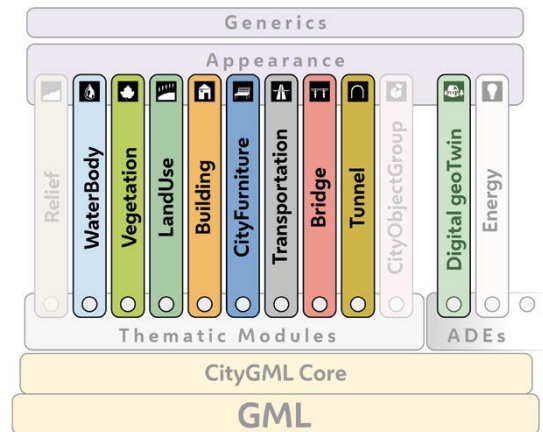


Abb. 22: DigitalgeoTwin Profil und ADE basierend auf CityGML 2.0

ADE definierte *LandUseClosureSurface* komplett abgedeckt wird. Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorgangsweise ist auch, dass die Geländedarstellung nicht mehr auf 2,5D – welche durch herkömmliche Geländemodell-Formate vorgegeben ist – begrenzt ist. Es sind sowohl vertikale Wände, als auch Überhänge in der Geländedarstellung des Digitalen geoZwillinges abbildbar.

Das Thema der *CityObjectGroup*, welche eine Gruppierung von mehreren Objekten zu einer Gruppe ermöglicht, wurde im PoC nicht behandelt, da hier keine neuen Objekte abgelegt werden, sondern eben nur bestehende gruppiert werden können.

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse des PoC des Digitalen geoZwilling der Stadt Wien in dem Testgebiet.

7. Ausblick

In Kapitel 3 wurde auch auf die externen Projektziele, welche die Schnittstellen des Digitalen geoZwillinges zum Digitalen Zwilling der Stadt Wien behandeln, eingegangen.

Das Thema der Fachdatenverknüpfung ist dabei eines der zentralen Schnittstellen-Themen. CityGML bietet mit dem Attribut der *ExternalReference* bereits ein Attributfeld, welches die Ablage einer ID aus einer anderen Datenbank ermöglicht. Verknüpfungen zwischen unterschiedlichen Systemen und Verwaltungsprozessen auf Objektebene zu bilden sind aber in der Regel durchaus komplexer und benötigen umfangreichere Möglichkeiten. Analysen und PoCs zu diesem Thema wurden bereits gestartet, sind aber noch in Arbeit.

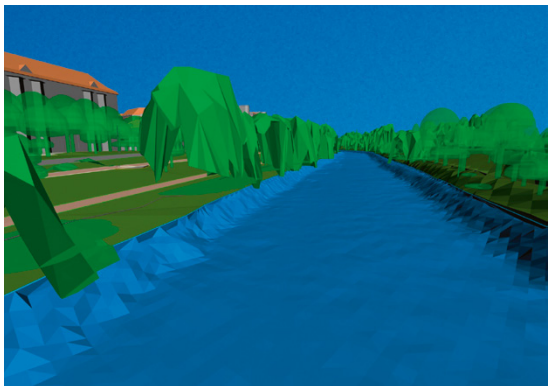
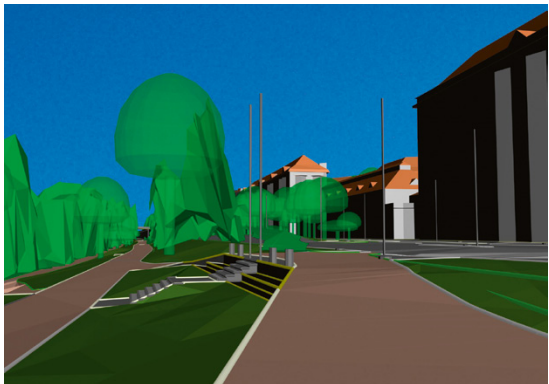
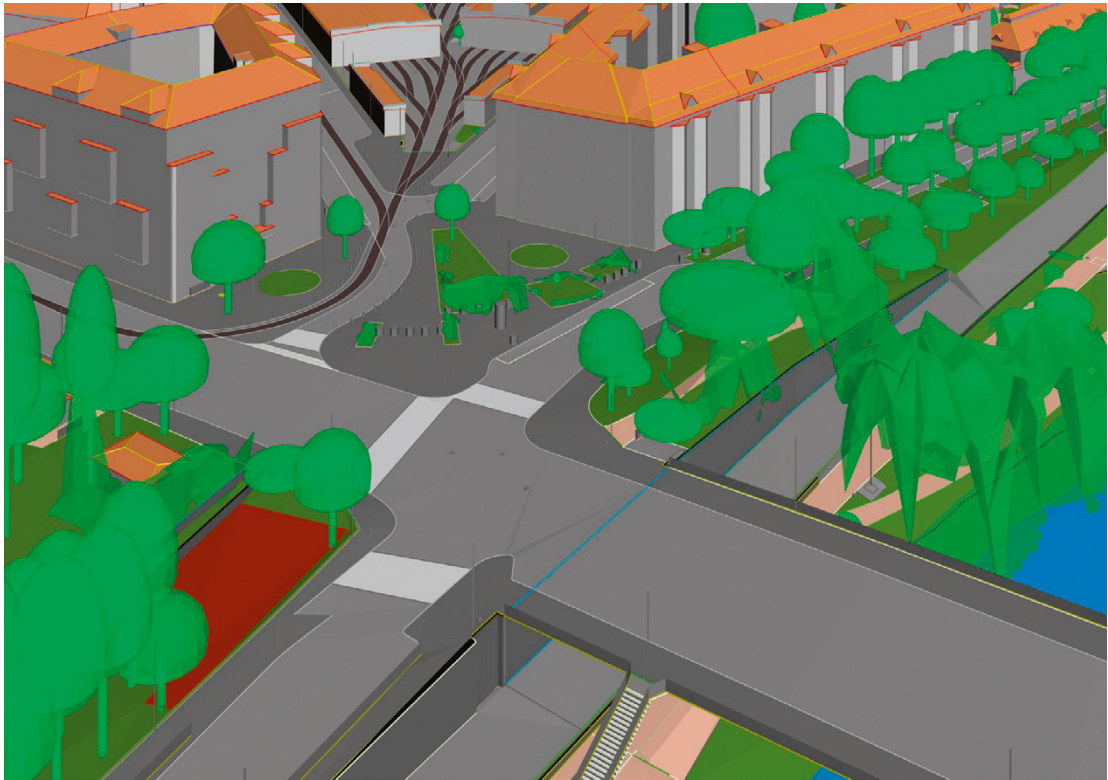




Abb. 23: Modellerte 3D-Geoobjekte im Testgebiet

Der Planungs-UseCase zielt auf das virtuelle Bild der Zukunft der Stadt ab, welches sich im Entwicklungsprozess der Planung durch verschiedene Planungsstadien sehr oft ändert, in Varianten verbreitert und schlussendlich in sehr detaillierten Ausführungsplänen in den Bestand übergeht. In diesem Bereich werden sehr unterschiedliche Planungswerkzeuge und sowohl attributive (LOI) und geometrische (LOD) Detaillierungsstufen verwendet. Beim Umgang mit diesem Anwendungsfall benötigt es also andere Datenmodelle und Herangehensweisen als bei der Modellierung von Bestandsdaten.

Im PoC des Digitalen geoZwillings wurden ein *DigitalgeoTwin* Profil und eine ADE basierend auf CityGML 2.0 erstellt. Die aktuell nur als Conceptual Model veröffentlichte Version CityGML 3.0 bringt einige interessante Neuerungen mit sich. Das LOD-Konzept wurde hier vereinfacht, wodurch der in CityGML 2.0 erforderliche Hilfsgriff LOD0 Modelle der Vegetation auf LOD4 abzulegen nicht mehr notwendig ist. Eine Überführung des DigitalgeoTwin-Profiles und ADE ist daher im Rahmen der Implementierung und Produktivsetzung angedacht.

Das vorgestellte Space Konzept bringt neue Möglichkeiten außerhalb der Modellierung des Naturstands mit sich. Dieser Aspekt betrifft somit nicht den Digitalen geoZwilling an sich, ist aber

dennoch für das Thema eines Digitalen Zwillings der Stadt Wien relevant und gilt daher untersucht zu werden.

In Kapitel 5.1.4 wurde auf die Möglichkeit eingegangen, mittels Versioning Modul in CityGML 3.0 die zeitliche Veränderung der Stadt abzubilden. Für das Verstehen einer Stadt ist oftmals auch ein Blick in die Vergangenheit notwendig, damit wird auch dieses Thema an Bedeutung gewinnen und bei der Implementierung des Digitalen geoZwillings Berücksichtigung finden.

Als Klammer darüber liegt das Thema der urbanen Simulation. Je nach Fragestellung benötigt man sehr unterschiedliche Daten eines Digitalen Stadtzwillings. Je mehr Daten bereits auf Objektebene verknüpft sind und ohne Vorbearbeitung zur Verfügung stehen, desto mehr Simulationsanwendungen werden in Zukunft als Unterstützung für schnelle und agile Entscheidungsprozesse zur Verfügung stehen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass CityGML ein komplexes und umfangreiches Datenmodell ist. Es ermöglicht die Konfiguration und Erweiterung auf eigene Bedürfnisse, benötigt dazu aber eine intensive Auseinandersetzung. Aus der Sicht von Geodatenproduzenten ist CityGML in der Entwicklung eines spezifischen 3D-Datenmodells wie für den Digitalen geoZwilling ein sehr gutes Fundament, benötigt aber Expertenwissen

in der Erstellung. Aus der Sicht von Datennutzern kann jedoch bemängelt werden, dass CityGML in kommerzieller Software teilweise noch nicht ausreichend unterstützt wird. So wird bei manchen Softwareprodukten – aufgrund der aktuellen Praxis in der Nutzung von CityGML – oft nur das Gebäudemodul unterstützt, während die anderen thematischen Module und damit viele Objektklassen nicht unterstützt werden. Aus diesem Grund ist das Konzept der LOD-Stufen auch nur für Gebäude gut erforscht und durch viel Literatur beschrieben. Zu anderen thematischen Modulen gibt es weit weniger bis gar keine Beschreibung zum LOD-Konzept. Positiv hervorzuheben ist die kürzliche Entwicklung eines Plugins für QGIS, welches das direkte Laden von in einer 3DCityDB abgelegten Objekten aller CityGML Module in der open source GIS-Software QGIS unterstützt.²¹

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim ganzen Projektteam des Digitalen geoZwilling, besonders bei Blanca Sala Herrera, Franz Eisenmagen, Peter Ilias und Gerhard Sonnberger, den Kolleg*innen, die sich bereits im Rahmen des Arbeitspakets der Modellierung auf den Paradigmenwechsel in der Geodatenbearbeitung eingelassen und damit tatkräftig an der Realisierung des PoC mitgearbeitet haben. Danke auch an Peter Ilias für die Erstellung der 3D-Visualisierungen der Ergebnisse des Testgebiets und Lorenz Glatz für die Unterstützung bei einleitenden Abbildungen.

Referenzen

- Belada, P. (1994). Die Mehrzweckstadtkarte, geometrische Grundlage für das Wiener GIS – Stand des Projektes, VGI - Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 82, 162–171
- Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. Computers Environment and Urban Systems. 59. 25-37. 10.1016/j.compenvurbysys.2016.04.005.
- Biljecki, F.; Ledoux, H.; Stoter, J. & Vosselman, G., (2016b), The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 116, 42-54
- Dorffner, L. & Zöchling, A. (2004). Das 3D-Stadtmodell von Wien – Grundlage für Planungsaufgaben und Visualisierungen, AGIT, Salzburg, Austria, Wichmann.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, K. & Häfele, K.-H. (2012). OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard
- Hagler, M. (2018). Digitalisierung Magistratsbereich - IKT-Teilstrategie, Magistratsdirektion der Stadt Wien, Geschäftsbereich Organisation und Sicherheit, Prozessmanagement und IKT-Strategie
- Kolbe, T. H., Kutzner, T., Smyth C. S., Nagel, C., Roensdorf, C. & Heazel, C. (2022): OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard

21) <https://github.com/tudelft3d/3DCityDB-QGIS-Loader>

Kutzner T., Kolbe T.H. (2018) CityGML 3.0: sneak preview, PFGK18-Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformatik-Kartographie, 37. Jahrestagung in München 2018, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., 27:835–839

Lehner H. & Dorffner L. (2020): Digital geoTwin Vienna: Towards a Digital Twin City as Geodata Hub. In: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) 88:63–75. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00101-4>

Lehner, H. & Kordasch, S. L. (2021): Digitaler geoZwilling - Was macht geo mit dem Zwilling?, TOGI Symposium – Zepelin Universität, <https://www.zu.de/institute/togi/assets/pdf/symposium-2021/SG04-Lehner-Kordasch-210613-Digitaler-GeoZwilling-V1.pdf>

Löwner, M.-O., Benner, J., Gröger, G., U., Gruber, K.-H., Häfele & Schlüter, S. (2012). CityGML 2.0 - ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 1: Datenmodell. ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement. 2012. 340 - 349.

Löwner, M.-O.; Casper, E.; Becker, T.; Benner, J.; Gröger, G.; Gruber, U.; Häfele, K.-H. & Schlüter, S., (2013) CityGML 2.0 - Ein internationaler Standard für 3D-Stadtmodelle, Teil 2: CityGML in der Praxis Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2, 131-143

Lutz, B. (2019): Data Excellence - IKT-Teilstrategie, Magistratsdirektion der Stadt Wien, Geschäftsbereich Organisation und Sicherheit. Prozessmanagement und IKT-Strategie, <https://digitales.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/47/2019/03/Data-Excellence.pdf>

Noardo, F.; Harrie, L.; Ohori, K. A.; Biljecki, F.; Ellul, C.; Krijnen, T.; Eriksson, H.; Guler, D.; Hintz, D.; Jadidi, M. A.; Pla, M.; Sanchez, S.; Soini, V.-P.; Stouffs, R.; Tekavec, J. & Stoter, J. (2020). Tools for BIM-GIS Integration (IFC Georeferencing and Conversions): Results from the GeoBIM Benchmark 2019, ISPRS International Journal of Geo-Information, Special Issue „Integration of BIM and GIS for Built Environment Applications“ 9

Stadler, A. & Kolbe, T. H. (2007). Spatio-semantic coherence in the integration of 3D city models, Proceedings of the 5th International ISPRS Symposium on Spatial Data Quality ISSDQ

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Hubert Lehner, Stadt Wien, Stadtvermessung, Fachbereichsleiter 3D-Modellierung und 3D-Services, Muthgasse 62, A-1190 Wien, Österreich.
E-Mail: hubert.lehner@wien.gv.at

Sara Lena Kordasch, BSc MSc, Stadt Wien, Stadtvermessung, Stabstelle Innovation und IKT, Muthgasse 62, A-1190 Wien, Österreich.
E-Mail: sara.kordasch@wien.gv.at

Charlotte Glatz, MSc, Stadt Wien, Stadtvermessung, Fachbereich 3D-Modellierung und 3D-Services, Muthgasse 62, A-1190 Wien, Österreich.
E-Mail: charlotte.glatz@wien.gv.at

Dr. Giorgio Agugiaro, 3D Geoinformation group, Delft University of Technology, Faculty of Architecture and the Built Environment, Department of Urbanism, Julianalaan 134, 2628BL Delft – The Netherlands.
E-Mail: g.agugiaro@tudelft.nl

Dissertationen, Diplom- und Masterarbeiten

Advancing the understanding of active microwave remote sensing of soil moisture and vegetation

Isabella Greimeister-Pfeil

Dissertation: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Wagner

Active microwave remote sensing techniques provide a means for the monitoring of biogeophysical variables over land, independent of weather and cloud conditions and daylight. Several missions are nowadays in place, which provide regular observations of the entire Earth surface. Observations provided by these sensors have for example been used for the retrieval of soil moisture (SM) and vegetation optical depth, a measure of canopy water content, density and structure. Some of these datasets are available publicly and on an operational basis. Despite the long history of active microwave remote sensing research, going back into the 1960s, there is a constant need to extend the understanding of how active microwave sensors perceive the land surface on the respective spatial scale of the satellite observations.

The aim of this thesis was to study the multi-angular backscatter signal (σ°) observed by the Advanced Scatterometer (ASCAT) sensor over the land surface. The focus was on the backscatter dependence on the incidence angle (σ^i), as this relationship is crucial for the separation of SM and vegetation effects on the observed signal. Thereby, I aimed at advancing the understanding of how SM and vegetation dynamics influence σ° and σ^i on the relatively coarse spatial scale of the ASCAT footprint. The main objectives can be summed up as follows: i) increase the understanding of the ASCAT backscatter incidence-angle relationship, in particular the first derivative σ^i , ii) investigate the potential of a regional adjustment of parameter values for SM and vegetation optical depth retrieval, iii) improve the understanding of structural effects of vegetation canopies on σ^i , and iv) reassess the assumption that σ^i is not or only weakly affected by SM.

The conducted research highlighted the great potential of the coarse-scale ASCAT sensor for the retrieval of biogeophysical variables such as SM and vegetation dynamics. One main new finding was that ASCAT is highly sensitive to the water uptake of deciduous broad-leaf trees in early spring, allowing for the monitoring of spring reactivation in deciduous forests across wide regions, potentially even on a global level. Thanks to the increasing temporal coverage, (ASCAT) backscatter

time series may be exploited for the study of growing season shifts as a reaction to climate change. The study clearly showed that canopy structure can have large effects on ASCAT observations, even if the responsible vegetation type makes up only a small fraction of the entire footprint.

The thesis also revealed potentials for improvements in existing retrieval algorithms, such as the benefits of a stronger vegetation correction for the retrieval of SM in temperate-climate, agricultural regions. Moreover, it was shown that despite the clear and dominant control of σ^i by vegetation dynamics, there are short-term secondary effects in σ^i caused by SM, which need to be taken into account when interpreting σ^i time series or applying σ^i as vegetation dynamics indicator.

The results of the thesis show that future studies of ASCAT σ° and its dependence on the incidence angle should be set up as broad as possible in order to take into account the numerous variables and processes that ASCAT is sensitive to, including combined effects that might cancel each other out or reinforce each other. However, detailed studies of selected processes will always be necessary in order to understand how individual components contribute to the signal. High resolution backscatter datasets, for example provided by Sentinel-1, and enhanced observation techniques, for example foreseen for the upcoming Metop-SG missions, ensure the availability of long backscatter time series, and open up new possibilities for investigating, understanding and monitoring backscatter from land surfaces. This thesis shall contribute to these efforts and support the way forward by shedding light on topics that were not studied in detail previously.

Towards instantaneous PPP convergence using multiple GNSS signals

Marcus Franz Glaner

Dissertation: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Höhere Geodäsie, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Robert Weber

Over the past decades, the principle of Precise Point Positioning (PPP) has become a well-established technique for determining the user's position with Global Navigation Satellite Systems' (GNSS) signals. A position accuracy at the centimeter or even millimeter level is accomplished by using code and phase observations, exploiting precise satellite products (e.g. orbits, clocks, and biases), and applying sophisticated algorithms. However, the convergence time until the coordinates have reached this accuracy is well known as the primary

concern of PPP. Typically, the convergence time of a PPP solution using GPS observations is 20-30 minutes, even with favorable satellite geometry.

The main objective of this thesis is to develop PPP processing schemes reducing the coordinate convergence time as far as possible. Therefore, multi-frequency signals of all four globally-working GNSS are exploited and used to estimate the user's position. The uncombined model is developed as an alternative to the observation model of the conventional PPP approach using the ionosphere-free linear combination. This flexible model is based on the raw GNSS observation equations and shows several benefits compared with the ionosphere-free linear combination. For example, the raw observation noise is preserved and ionospheric pseudo-observations are included in the calculation of the PPP solution, resulting in the uncombined model with ionospheric constraint. Finally, integer ambiguity resolution is performed in the conventional as well as the uncombined model.

The presented approaches, models, and algorithms are implemented in raPPPid, the PPP module of the Vienna VLBI and Satellite Software (VieVS). This software was developed in the course of this thesis. With raPPPid, convergence times of 1 minute or below to centimeter-level position accuracy are achieved for static receivers under good conditions.

Large-scale flood mapping using SAR remote sensing data

Jie Zhao

Dissertation: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Fernerkundung, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Wagner, Renaud Hostache PhD

Flooding is one of the most serious and costly natural disasters worldwide. In order to monitor and map the global flood-affected regions, remote sensing data over a large scale can be considered. Compared with optical data, synthetic aperture radar (SAR) data is more preferred as it can be obtained regardless of solar illumination and weather conditions. Owing to the growing number of SAR satellite missions, large-scale flood mapping can be conducted with high revisit rates. However, previous flood mapping research focused and tested on specific sites and events while systematic and feasible applications of algorithms at large-scale are still rare.

This thesis presents two automatic and reliable methods for large-scale flood mapping, i.e., one focused on rural areas based on historical SAR intensity data while the other focused on urban areas using multi-temporal SAR intensity and interferometric SAR (InSAR) coherence. Furthermore, it introduces a time-series Sentinel-1

based exclusion map (EX-map) indicating the region where SAR data cannot identify floods or non-floods.

For rural flood mapping using historical data archives, automatic flood image selection has been proposed by selecting images whose bimodal distributions can always be identified in this specific image and different reference images. Then, a Euclidean distance based reference index is introduced to select an adequate pre-event reference image for change detection based flood mapping. At last, the incidence angle effect, wind effect and water-lookalike vegetation have been considered in the final flood mapping step (i.e. thresholding, region growing and change detection). Experiments covering the south-western United Kingdom with 74 ENVISAT ASAR wide-swath images acquired between 2005 and 2012 demonstrate the effectiveness, robustness and flexibility of the proposed method.

The combination of multi-temporal SAR intensity and InSAR coherence in urban flood mapping is explored through U-Net and the proposed urban-aware module. The prior information of urban areas is introduced through urban-aware module to the multi-level features in order to help the model extract informative characteristics of different flood classes (i.e. flooded urban areas and flooded bare soils and sparsely vegetated regions). Experiments conducted on six flood events over three continents based on Sentinel-1 data demonstrate that the proper strategy of using prior information of urban areas can profitably complement intensity and coherence information for large-scale urban flood mapping, especially when it comes to a deep learning model trained via limited labelled training samples.

The general assumption in the above-mentioned SAR-based flood mapping is that the appearance of floodwater leads to changes in backscatter. However, this common assumption is not always valid in some specific cases, such as radar shadow/layover regions, urban areas, arid regions and dense forests. Thus, we firstly defined an EX-map which should include all those specific regions in support of large-scale flood mapping. A decision tree based method using four multi-temporal indicators is presented. Experiments over six study sites from four continents with totally different land cover scenarios and weather conditions based on 20m Sentinel-1 images from eight orbital tracks illustrate that the definition of the EX-map is more appropriate than the ones of other reference datasets such as global land cover maps and DEM-derived radar shadow/layover mask. Besides complementing flood maps, the proposed EX-map can be used in other applications such as large-scale soil moisture retrieval and assimilation of flood extent maps into hydrological-hydraulic models.

Clustering methods in the context of deformation analysis based on laser scanning point clouds

Viktoria Kostjak

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Berndt Neuner

The rapid development of laser scanners in recent years has opened a new field of research. In particular, point clouds generated by terrestrial laser scanners are used in engineering geodesy. Unlike previous point-wise methods, point clouds contain spatial information about the object. Consequently, the search for area-based analysis methods to describe the scanned objects is the new challenge. In [Harmening and Neuner, 2020] a deformation analysis approach is introduced. The approach bases on a least square collocation. The main objective is to model the signal and noise in the point cloud. The information about the deformation holds the signal.

This thesis deals with a part of the modelling process of the signal. This consists of finding locally homogeneous areas and representing them by a suitable standard deviation. The main task is to define a clustering process, which reliably provides the same results. The clustering method K-means used in the initial approach does not have this property. An additional task is the improvement of the calculation routine of the representative standard deviations. They are used in the stochastic process as a slowly varying factor. The new clustering process, introduced in this work, is a combination of two clustering methods. The first one, clustering only the deformed part of the point cloud, is a spectral clustering algorithm. The clusters are constructed in relation to the eigenvectors of the Laplacian matrix. The matrix is derived from the similarity graph, which describes the connection between the data points. An additional clustering is performed using a Gaussian mixture model. This method leads to a soft clustering implementation, which means that data points can belong to multiple clusters. The posterior probability of a data point belonging to a cluster is determined considering Gaussian distributions. Moreover, soft clustering allows crossovers to be better described with the cluster result. In connection with the properties of soft clustering, the stable region was also included in the clustering.

As it turned out, finding a suitable clustering process was not the biggest challenge in this work. The feature vector for each clustering method, the choice of the number of clusters, the influence of the stable points on the clustering result and the calculation of the representative standard deviation for each point had influence on the final results. The latter, which is needed for the normalization of the residuals to the trend surface,

had a greater impact on the final results than assumed. In essence, however, an optimized clustering process has been developed that provides stable final results. Influences from other parts of the approach have not yet been considered with respect to the new clustering process.

Development of an autonomously operating stop-and-go multi-sensor system and pose estimation evaluation based on 3D laser scans

Max Brandstätter

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Berndt Neuner, Univ.Ass. Finn Linzer MSc

Many different multi-sensor systems (MSS) have been developed in recent years and their field of application is constantly expanding. They are designed specifically with the necessary devices, which autonomously operate during the measurement process. This way, the strengths of the sensors can be exploited, while their weaknesses are compensated for. This focus on modularity and autonomy of the sensors makes it possible to achieve ambitious goals. The presented system spatially surveys an indoor or outdoor area in a stop-and-go process without human interaction. The sensors used for this purpose are attached to a common mobile robot platform, in this case to the Clearpath Husky A200. The integration of a terrestrial laser scanner (TLS) into the MSS is an important aspect for geodetic purposes. For the exchange of information between the TLS and the robot platform, the open source framework Robot Operating System (ROS) is used.

The realisation of the autonomous navigation, as well as the technical realisation to enable the automatic interaction between TLS and the robot platform are described in this thesis. This includes e.g. drivers to interface the finite state machine via ROS. As a result, the MSS is able to navigate autonomously along a predefined route, characterized by a list of waypoints. The system stops at certain points of the list and performs 360° scans using the TLS, yielding considerable 3D information of the environment as point clouds. Well-known methodological approaches are applied for the determination of the robot's pose. These refer to a GNSS/IMU integration for outdoor and an adaptive Monte Carlo localization algorithm for indoor measurements. The TLS applied in the system, a RIEGLVZ-400i, provides not only high-resolution point clouds of the surrounding area, but also the relative poses of the scan locations due to an automatic voxel registration algorithm.

In the last part of the paper, the investigation of the precision of these relative poses to assess the performance of the registration is discussed. For this reason, common black-and-white targets are placed in the area of investigation. These are used to estimate the relative poses of the scanning locations by six-parameter transformation. Established methods like ICP and bundle adjustment are subsequently employed to improve the approximated relative poses. Various measurement scenarios with different configurations of the TLS are inspected. The results show small differences primarily in the mm-domain between the relative poses provided by the TLS and those estimated based on the targets. This can be regarded as a confirmation for a stable and reliable performance of the automatic registration. The relative poses provided by the TLS can be incorporated into the measurement process in order to further stabilize and support the navigation solution. This will be content of future research work.

To be or not to be. Detecting Points of Interest along route segments

Anna Zessner-Spitzenberg

Diplomarbeit: Department für Geodäsie und Geoinformation, Forschungsgruppe Geoinformation, Technische Universität Wien, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Ioannis Giannopoulos MSc, Univ.-Ass. Mag. Dr. Markus Kattenbeck

Navigation systems guide their users from a starting point to a destination. In general, the instructions are based on distances and street names. A potential improvement is to include Points of Interest (POIs) into navigation instructions. POIs are often located inside buildings, e.g., shops or restaurants. However, the knowledge from which side the POI is visible is not stored in the available datasets. Therefore, current navigation systems cannot verify if the POI for the next instruction is visible from a specific location in the street and can be used for navigation.

The aim of this thesis is to connect street segments with visible POIs after detecting those in street view images with either a YOLOv3 architecture or Visual Saliency and a YOLOv3 architecture. The approach is divided into 3 steps: Pre-processing, Detection and Allocation. The Pre-processing includes the preparation of the street view images and the geodata such as the POIs, buildings, and street segments. These are retrieved from open data sources. In the pre-processing the positions of the street view images are corrected, corner buildings are detected in the building dataset and a pre-selection of the images is done by analysing if buildings, with POIs inside, are in the field of view of the image. The second part, detection, is responsible for identifying the POI in the image. The detector is once used on the original images and once after Visual Saliency was applied on the image. Then the Machine

Learning detector recognizes the POIs only in the most salient parts of the image. The goal is to compare these two approaches, with and without Visual Saliency. To be able to identify POIs in street images a POI detector needs to be trained. The images for the training of the POI detector are gathered from various sources. Pre-trained weights are needed to be produced for the POI detector, since not enough images are available. After the detection of a POI in an image the combination of the POI from the image and the OSM data needs to be done. This part is called allocation. This includes the calculation of the building and the facade where the POI is found in the image. On one hand this information is essential to assign the POI to a street segment. On the other hand, the information about the building is needed to find the corresponding POI stored in the geodata.

The steps, which are part of the Pre-processing and the Allocation, are implemented into the pipeline of the algorithm of this thesis successfully. The quality of these steps strongly depends on the accuracy of the position of the street view images and the POIs. Moreover, the result is dependent on the topicality of street view images and the information about the POIs. Further improvements of the results could be achieved by finding the optimal maximum distance between the street view images and a POI or other thresholds. The main shortcoming of this work is the detection of POIs in street view images. The training of the pre-trained weights did not work. Thus, the training of the POI detector could not be done as well. The training of the pre-trained weights either did not converge or failed due to overfitting. In case that this missing part of the algorithm can be successfully implemented, the developed pipeline will be able to allocate the POIs to street segments and use them in navigation instructions.

Untersuchung der Trennbarkeit und Klassifikation von Graslandtypen mittels Sentinel-2 Daten

Kaja Ajster

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, 2022

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

Grasland ist einer der am weitesten verbreiteten Vegetationstypen weltweit und gehört zu den wichtigsten Ökosystemen. In dieser Arbeit wurde die Trennbarkeit und Klassifikation von unterschiedlichen Graslandtypen mittels einer Zeitreihe von Sentinel-2 Satellitenbildern in den steirischen Bezirken Obersteiermark und Liezen untersucht. Für die Analysen wurden neben den Zeitreihen und den daraus abgeleiteten zeitlich-spektralen Statistiken innerhalb verschiedener phänologischer Zeiträume auch zusätzliche Informationen miteinbezogen, wie z.B. ein digitales Geländemodell.

Im ersten Teil der Arbeit wurden verschiedene Trennbarkeitsanalysen mit unterschiedlichen Methoden (Jeffries-Matusita Maß, Gini Index, Mittelwertdiagramm, Streudiagramm) durchgeführt, um die besten Bänder bzw. Indizes und die besten phänologische Zeiträume für die Trennung der Graslandtypen zu analysieren. Im zweiten Teil der Arbeit wurden zwei Klassifikationsmethoden, Random Forest und Maximum Likelihood, mit unterschiedlichen Inputdaten angewendet, um zu untersuchen, inwiefern sich verschiedene Graslandtypen anhand von ihren Reflexionswerten unterscheiden lassen.

Das Ergebnis der Analysen hat ergeben, dass die Wahl der optimalen Bänder bzw. Indizes von der verwendeten Methode abhängt. Jedoch gibt es acht Features (NIR, Narrow NIR, RE2, RE3, Clgreen, ClredEdge, MTCl, TC Brightness), welche sich bei allen Methoden gut für die Trennung unterschiedlichen Graslandtypen geeignet haben, dazu gehören vor allem die Features aus dem nahen und mittleren Infrarot Bereich. Das beste Random Forest Klassifikationsergebnis wurde unter der Anwendung eines zweimonatlichen Kompositbildes von Juli und August und den zeitlich-spektralen Statistiken erreicht. Während die beste Maximum Likelihood Klassifikation mit den Top 10 Features (NIR, RedEdge 3, Narrow NIR, ClredEdge, IRECI, NDRE1, NDRE2, NDVI, TC Brightness, TC Greenness) entsprechend der Jeffries-Matusita Distanz erreicht wurde. Die Genauigkeit der Klassifikation wurde bei beiden Methoden durch das Mitberücksichtigen der Höhenlage über das Geländemodell verbessert. Insgesamt zeigte diese Arbeit, dass sich mit den multispektralen Sentinel-2 Satellitenbildern und daraus berechneten Vegetationsindizes die meisten Graslandtypen gut trennen lassen.

Investigation of routing possibilities for „Hike and Fly“ within paragliding

Elisabeth Egger

Diplomarbeit: Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Navigation, Technische Universität Graz, 2022

Betreuer: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Manfred Wieser

Paragleiten bezeichnet eine Luftsportart, bei der der Pilot mit einer fußstartfähigen Kappe aus Segeltuch fliegt. Die Kappe sowie das Gurtzeug können bei kleinem Packmaß einfach in einem Rucksack getragen werden und ermöglichen so «Hike and Fly» - eine Freizeitaktivität, bei welcher man auf einen Berg wandert, um dann von dort zu starten und hinunter zu fliegen. In den letzten Jahren wurden «Hike and Fly» Wettkämpfe immer populärer und somit eine optimale Routenwahl immer wichtiger.

Im Zuge dieser Masterarbeit wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher automatisiert Start- und Landeplätze erkennt, und berechnet, welche Landeplätze von einem Startplatz aus erreichbar sind. Diese Flugstrecken wurden an das `\ac{osm}` Straßennetz angebunden, wobei

die Daten für Navigationszwecke optimiert wurden. Des Weiteren entstand bei der Erarbeitung eine Kostenfunktion, die die Reisezeit entlang der unterschiedlichen Kanten innerhalb des Graphen-Netzwerkes berechnet. Anhand dieser Kosten wurde die Routenoptimierung bei drei unterschiedlichen Aufgabenstellungen implementiert: Routenoptimierung von A nach B, Berechnung der optimalen Out-and-Return Route und Suche nach umliegenden Startplätzen.

Als Endprodukt wurde eine Homepage erstellt, mit der Routenberechnungen durchgeführt werden können. Zudem wurden die berechneten Routen Echtzeiten gegenübergestellt. Die erlangten Ergebnisse verifizieren, dass eine Routenoptimierung für «Paragleit Hike and Fly» Wettkämpfe funktioniert und im Wettkampf einen Vorteil bringen kann.

Qualitätsanalyse von Punktwolkenaufnahmen mit dem RTC360 in Kombination mit Registry360

Judith Danzberger

Diplomarbeit: Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme, Technische Universität Graz, 2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Werner Lienhart

In der Masterarbeit werden unterschiedliche Aufnahme- und Registrierungsmethoden zur Punktwolkenerfassung mit dem Laserscanner Leica RTC360 untersucht. Die Firma Leica verspricht schnelle und präzise Ergebnisse von Umgebungserfassungen und somit eine Produktivitätssteigerung bei der Datenaufnahme, als auch bei der Auswertung von Punktwolken. Die Hardware besteht aus einem 3D-Laserscanner und einem Tablet, auf dem die Software „Leica Cyclone Field360“ in Echtzeit eine Scan-Registrierung vornimmt, um im Anschluss bei der Auswertung die Lösung mit der Software „Leica Cyclone Register360“ zu überprüfen und zu verbessern. Das neu integrierte VIS (Visual Inertial System) nimmt die Bewegungen mit dem Gerät zwischen den Standpunkten auf und registriert die Scans im Feld vor.

Durch die Durchführung und Auswertung dezidiert Feldexperimente, unter kontrollierten Bedingungen werden die Funktionsweisen der einzelnen Komponenten untersucht und überprüft. Unter anderem werden die verschiedenen Registrierungsmethoden Freie Stationierung mit Targets oder cloud2cloud und variierende Aufnahmesituationen (z.B. Innenraum, urbane Gebiete und Wälder) gemacht. Weiters werden Testungen zur Untersuchung der Reichweiten in den einzelnen Auflösungsmodi in unterschiedlichen Situationen durchgeführt. Zusätzlich zu den Experimenten mit dem Gerät werden einzelne Auswerteverfahren mit der Software „Cyclone Register360“ eingesetzt. Ziel ist die Definition eines optimalen Arbeitsflusses hinsichtlich erreichbarer Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Recht und Gesetz

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

Verbücherung von Anlagen; §§ 2 iVm 15 LiegTeilG

Ein Teilungsplan, welcher nach den Bestimmungen der §§ 15ff LiegTeilG verbüchert werden soll, darf ausschließlich Teilflächen enthalten, welche errichtete Anlagen im Sinne des § 15 LiegTeilG betreffen.

BVwG, 21.04.2022, W138 2252032-1

Sachverhalt:

Die Beschwerdeführerin (BF) hat um Durchführung eines Teilungsplanes nach den Sonderbestimmungen des § 15 LiegTeilG ersucht.

Mit Bescheid des Vermessungsamtes wurde der Antrag abgewiesen. Dies im Wesentlichen mit der Begründung, dass nicht alle Trennstücke im Plan zur Herstellung einer in § 15 LiegTeilG genannten Anlage verwendet worden seien. Es müsse sich weiters um eine Anlage auf der Oberfläche des Grundstücks handeln, auf rein unterirdische Anlagen seien die Bestimmungen des § 15 LiegTeilG nicht anzuwenden.

Die BF hat auf einigen Grundstücken gemäß dem eingereichten Teilungsplan eine Unterflurtrasse in offener Bauweise errichtet, welche planmäßig eingehaust wurde. Nach baulicher Fertigstellung wurde die Oberfläche ua aus landschaftsästhetischen und ökologischen Gründen begrünt. Die Oberfläche kann nicht mehr, wie bisher, landwirtschaftlich genutzt werden. Der betreffenden Geländestreifen wurde gegen Beschädigungen des Bauwerks dauerhaft abgesichert.

Der Teilungsplan umfasst auch Grundstücke die nicht zur Errichtung einer Anlage iSd. § 15 LiegTeilG verwendet wurden.

Rechtliche Beurteilung:

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung des vereinfachten Verbücherungsverfahrens nach §§ 15ff LiegTeilG besteht darin, dass die Besitzänderungen durch eine bereits vollendete, in der Natur vorhandene Straßen-, Weg-, Eisenbahn- oder Wasserbauanlage herbeigeführt wurden (OGH 5 Ob 101/01s).

Aufgabe des Vermessungsamtes ist dabei, die Tatsache des Vorliegens einer der im Gesetz näher genannten Anlagen zu bestätigen und damit auch die Tatsache des tatsächlich bereits vollzogenen Besitzüberganges (VwGH 2008/06/0016).

Die Anwendung des Sonderverfahrens setzt nach dem klaren Wortlaut des § 15 Z 1 LiegTeilG die tatsächliche Verwendung der betroffenen Grundstücke für die Herstellung einer Anlage voraus. Die Eigentumsveränderung muss demnach durch die Errichtung der Anlage selbst herbeigeführt worden sein (OGH 5 Ob 52/92 und 5 Ob 104/95).

Demgemäß sieht § 15 LiegTeilG vor, dass das vereinfachte Verbücherungsverfahren lediglich auf Grundstücke anzuwenden ist, die auch nur teilweise zur „Herstellung, Umlegung oder Erweiterung und Erhaltung“ einer bestimmten Anlage „verwendet worden sind“.

Es ist daher bei der Beurteilung maßgeblich, ob ein bestimmter Teil der Erdoberfläche für die Herstellung der Anlage verwendet worden ist. „Verwenden“ bedeutet in diesem Zusammenhang, ein Grundstück oder einen Grundstücksteil - also einen abgegrenzten Teil der Erdoberfläche - seiner bisherigen Nutzung zu entziehen und dauerhaft anders, nämlich als bauliche Anlage, zu verwenden (dauerhaft einer anderen Verwertung zuzuführen) (BMwA GZ 96205/5-IX/6/99).

Gegenständlich wurden einige Grundstücke zum Bau eine Unterflurtrasse in offener Bauweise verwendet. Dass die Oberfläche nach baulicher Fertigstellung ua aus landschaftsästhetischen und ökologischen Gründen geringmächtig humanisiert und begrünt wurde, ändert nichts daran, dass es sich bei der Errichtung der Unterflurtrasse in diesem konkreten Fall um eine Anlage nach § 15 LiegTeilG handelt, da die Oberfläche dauerhaft abgesichert ist und nicht mehr genutzt werden kann. Aufgrund der Errichtung der Unterflurtrasse wurde die Erdoberfläche der betreffenden Grundstücke ihrer bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung entzogen und dient nun dauerhaft der errichteten baulichen Anlage. Die Besitzänderung ist dadurch in der Natur bereits vollzogen worden.

Gemäß § 2 LiegTeilG darf ein Plan im Sinn des § 1 LiegTeilG jedoch nur zur Gänze grundbüchertlich durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass ein Teilungsplan, welcher nach den Bestimmungen der §§ 15ff LiegTeilG verbüchert werden soll, ausschließlich Teilflächen enthalten darf, welche errichtete Anlagen im Sinne des § 15 LiegTeilG betreffen.

Da der gegenständliche Teilungsplan auch Grundstücke umfasst, welche offensichtlich nicht der Errichtung einer in § 15 LiegTeilG genannten Anlage dienen, war der Antrag auf Durchführung des Planes nach den Sonderbestimmungen gemäß §§ 15ff LiegTeilG aber insgesamt abzuweisen.

Grenzverhandlung, Gerichtsverweis; § 25 Abs. 2 zweiter Satz VermG

Wenn beide Grundeigentümer einen von den Behelfen abweichenden Grenzverlauf behaupten ist für die Feststellung des Eigentümers, an den die Aufforderung, ein gerichtliches Verfahren anhängig zu machen, zu richten ist, der Grad der Wahrscheinlichkeit der Behauptung maßgebend.

BVwG 04.07.2022, W134 2253459-1

Sachverhalt:

Auf Antrag von A wurde 2021 beim Grundstück 519 der KG O eine Grenzverhandlung gemäß § 17 Z 2 VermG abgehalten. Betreffend die Grenze dieses Grundstücks zum angrenzenden Grundstück von B wurde keine Einigung erreicht. Mit Bescheid des VermA F wurde zunächst gegenüber A ein Gerichtsverweis ausgesprochen. Auf Grund einer Beschwerde des B wurde mit der daraufhin ergangenen Beschwerdevereinscheidung des VermA nunmehr gegenüber A ein Gerichtsverweis ausgesprochen.

Aus der Begründung des BVwG:

B als Eigentümer des Grundstücks 548/1 und A als Eigentümer des Grundstücks 519 haben sich bei der Grenzverhandlung 2021 nicht auf einen Grenzverlauf der angeführten Grundstücke einigen können. Ein diesbezügliches gerichtliches Verfahren ist nicht anhängig. Sowohl B als auch A behaupten einen vom Katasterstand abweichenden Grenzverlauf.

Im Zuge der nach der Grenzverhandlung durchgeführten Detailaufnahme wurden in unmittelbarer Nähe zu den von B behaupteten Grenzpunkten (GP) 6, 7, 8 und 11 im Boden vergrabene behauene Steine aufgefunden. Die Steine sind von Art und Beschaffenheit mit dem unstrittigen GP 3 gleichzusetzen. Die aufgefundenen Steine befinden sich entlang der Bewirtschaftungsgrenze. In der Natur haben sich für die Grenzbehauptung von A keine Anhaltspunkte ergeben.

Vorerst ist festzuhalten, dass der Abspruch über einen strittigen Grenzverlauf (und damit über eine Frage des zivilrechtlichen Eigentumes) vor den ordentlichen Gerichten zu erfolgen hat. Hierin liegt auch der Zweck eines Gerichtsverweises in einer Grenzverhandlung eines Vermessungsamtes, um den Grenzstreit vor die dafür zuständigen Gerichte zu tragen. Dabei muss – um in weiterer Folge die Zustimmungsfiktion des § 25 Abs. 5 VermG anwenden zu können – einem der Nachbarn die Klägerrolle zugewiesen werden.

Im Falle einer Grenzverhandlung durch ein Vermessungsamt kommt es nicht immer zu einer Einigung auf den Grenzverlauf im Sinne des § 25 Abs. 1 VermG. Für

Fälle einer Uneinigkeit über den gemeinsamen Grenzverlauf trifft § 25 Abs. 2 VermG nähere Regelungen, welche Person auf den Gerichtsweg zu verweisen ist.

Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden.

Der erste Fall ist jener, dass sich ein Eigentümer auf jenen Grenzverlauf beruft, der sich aus den Behelfen ergibt, während der andere einen abweichenden Grenzverlauf behauptet. In diesem Fall ist zwingend jener Eigentümer zu Gericht zu verweisen, der einen von den Behelfen abweichenden Grenzverlauf behauptet (§ 25 Abs. 2 erster Satz VermG).

Der zweite Fall ist jener, wenn beide Grundeigentümer einen von den Behelfen abweichenden Grenzverlauf behaupten. Dann ist der Grad der Wahrscheinlichkeit der Behauptung maßgebend (§ 25 Abs. 2 zweiter Satz VermG).

§ 25 Abs 2 VermG ist in Twaroch, Kataster- und Vermessungsrecht, 3. Auflage 2017, näher erläutert.

... Im Folgenden zitiert die Entscheidung die Anmerkungen 24 bis 28 zu § 25 VermG. ...

In der gegenständlichen Konstellation handelt es sich um den vorher beschriebenen zweiten Fall.

Da sowohl B als auch A einen von den Behelfen abweichenden Grenzverlauf behauptet haben, war der Grad der Wahrscheinlichkeit der Behauptung maßgeblich. Bei der Beurteilung des Grads der Wahrscheinlichkeit sind keine umfangreichen Erhebungen durchzuführen, die die Entscheidung in der Sache selbst vorwegnehmen; die Beurteilung hat vielmehr auf Grund der in der Grenzverhandlung hervorgekommenen Umstände zu erfolgen. Dabei kommen die Gegebenheiten in der Natur, die zur vollkommenen Herstellung des Grenzverlaufes nicht ausreichen, die jedoch auf einen bestimmten Grenzverlauf hindeuten in Betracht. In der Natur wurden von der belangten Behörde im Boden vergrabene behauene Steine aufgefunden, die auf den Grenzverlauf wie er vom B behauptet wird hindeuten. Die Steine befinden sich zudem an der Bewirtschaftungsgrenze und sind nach Art und Beschaffenheit gleich dem unstrittigen GP 3. Es sind keine Anhaltspunkte hervorgekommen, dass die Steine erst kürzlich dort vergraben wurden.

Da die Gegebenheiten in der Natur (Steine entlang der Bewirtschaftungsgrenze) auf den von B behaupteten Grenzverlauf hindeuten, hat der von B behauptete Grenzverlauf den höheren Grad der Wahrscheinlichkeit. Für den von A behaupteten Grenzverlauf wurden in der Natur keine Anhaltspunkte gefunden. Da die Grenzbehauptung von A daher den geringeren Grad der Wahrscheinlichkeit aufwies, war er auf den Rechtsweg zu verweisen.

Österr. Vermessungs-Know-How im internationalen Kontext

Europaweite Erfassung von Geodaten

Österreichisches Know-How und Unternehmerleistung am Projekt
Photogrammetrisch-topographische Vermessung Kroatien 2022

Harald Meixner



Nach einem intensiven Bewerbungsmarathon, detaillierter Projektbeschreibung und umfassender Evaluierung durch die kroatischen Auftraggeber konnten wir die Ausschreibung des Photogrammetrie Projekts „Kroatien“ 2022 gewinnen. Voraussetzung war die entsprechende Erfahrung auf dem Gebiet der photogrammetrisch-topographischen Landesaufnahme mit den Gebieten Passpunktmessung, airborne Laserscanning und hochauflösende Luftbildaufnahme.

Es waren großformatige Luftbildaufnahmen mit den derzeit modernsten und leistungsfähigsten Luftbildkameras des österreichischen Herstellers Vexcel flächendeckend für das kroatische Festland und einschließlich aller Inseln bei geringer Belaubung im Frühjahr und Herbst 2022 herzustellen. Im Abstand von maximal +/- 60 Tagen waren dazu diese Bereiche auch mittels airborne Laserscannern der österreichischen Firma Riegl zu befliegen. Parallel zur Befliegung fanden die landesweiten GPS gestützten Passpunktmessungen statt.

Dank der lokalen Kenntnisse, die Meixner auch aufgrund des vor 10 Jahren in Zagreb zusammen mit einem ehemaligen Meixner Mitarbeiter gegründeten Unternehmens meixner d.o.o und der Einrichtungen eines eigenen Auswertezentrums von Meixner Vermessung ZT GmbH in Zagreb aufweist, war es möglich den äußerst engen und herausfordernden Zeitvorgaben des kroa-

tischen Auftraggebers gerecht zu werden. Die Leitung des Gesamtprojektteils von Meixner hatte eine erfahrene Mitarbeiterin und TU Wien Absolventin. Sie wurde durch einen ehemaligen Universitätsassistenten der TU Zagreb und ein internationales Expertenteam unterstützt.

Die Befliegungen fanden mit bis zu 6 Flugzeugen bei unterschiedlichen Wetterbedingungen statt. Das Dispatching und die Flugfreigaben waren ebenfalls eine Herausforderung, welche durch intensive Zusammenarbeit mit der kroatischen Flugsicherung und dem Militär schließlich die Flugzeugarmada in die Lüfte brachte. Der Bildflug wurde weitgehend mit österreichisch registrierten Flugzeugen und mit österreichischen Piloten und Kameraoperatoren durchgeführt und musste mit den sonstigen Meixner-Bildflugprojekten synchronisiert werden.

Die Rohdaten wurden tagesaktuell in unserem Büro in Zagreb abgeliefert und sofort bearbeitet. Die Bildprozessierung erfolgte mit der österreichischen Vexcel-Software und die Aerotriangulation mit der auf österreichischen Entwicklungen basierenden AT-Ausgleichssoftware. Zusammen mit den Laserscanningdaten wurden sodann die Orthophotos gerechnet, die Seamlines editiert und zu einem Datensatz von mehr als 200 TB zusammengefasst und geliefert. So konnte für die landestopographische Aufnahme von Kroatien in bester Zusammenarbeit

mit dem Auftraggeber und dem internationalen Team die Grundlagen für die Raumplanung und Infrastrukturplanung und -entwicklung geliefert werden.

Die Herausforderungen waren die Auswertung vor Ort, die große Datenmenge, der enge Zeithorizont, die Koordinierung aller Flugzeuge, das Ausnützen der limitierenden Wettersituationen, die Befliegung von an die 100 an der dalmatinischen Küste verstreuten Inseln sowie die laufenden Projektbesprechungen und das flexible Eingehen auf detaillierte Wünsche des Auftraggebers und die Lieferung aller Projekteinreichungen, Garantien, Leistungsnachweise und aller Projektergebnisse in kroatischer Sprache.

Wir sind froh dieses umfangreiche Projekt dank unserer Mitarbeiter, des internationalen Teams und dem verständnisvollen vertragskonformen Entgegenkommen der kroatischen Behörden, wie Militär und Flugsicherung, mit bedeutendem Einsatz österreichischer Technologien durchgeführt zu haben.

Harald Meixner

Zur Person

Harald Meixner wurde 1948 in Wien geboren. Er studierte Vermessungswesen an der Technischen Hochschule in Wien und schloss 1970 mit dem Diplomingenieur ab. Es folgte ein Doktoratsstudium an der Technischen Universität Stuttgart auf dem Gebiet der Photogrammetrie mit Rigorosum im Jahr 1973. Seit 1966 arbeitete er im



Vermessungsbüro seines Vaters und während des Doktoratsstudiums als Assistent an der Technischen Universität Stuttgart. Seit 1975 besitzt er die Befugnis eines Ingenieurkonsulenten für Vermessungswesen. Gemeinsam mit seinem Bruder übernahm er 1981 das Büro des Vaters, das er seit dem Ausscheiden seines Bruders im Jahr 2003 alleine führt.

Seit 2015 ist er Ehrensenator der Technischen Universität Wien. Ihm wurde durch den Bundespräsidenten der Titel „Professor h.c.“ verliehen und er wurde mit dem silbernen Ehrenzeichen der Republik Österreich und dem silbernen Ehrenzeichen der Stadt Wien ausgezeichnet. Zudem ist er Honorarkonsul der Republik Botswana für Österreich.



Besuchen Sie die OVG Facebook Seite!

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

➡ www.facebook.com/OVGAustria ⚡



:: Be part of it! ::

Tagungsberichte

Dreiländertagung und Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2022



Kandidaten für den Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreis 2022 (Quelle: dgpf.de)

Am 5. Oktober 2022 konnten wieder Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreise in Präsenz vergeben werden. War die Preisvergabe für das Jahr 2021 bedingt durch die COVID-Pandemie nur virtuell in einem Videokonferenzformat möglich, konnte die Dreiländertagung von DGPF (Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation), OVG (Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation) und SGPF (Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung) am 5. und 6. Oktober 2022 in Dresden wieder den gewohnten Rahmen bieten.

Die Preise gingen an:

1. Preis: Nando Metzger, ETH Zürich für die Arbeit „Forecasting Urban Development from Satellite Images“,
2. Preis Michael Recla, TU München für die Arbeit „Deep Learning-based Height Reconstruction from single SAR-Imagery“ und
3. Preis Steffen Isfort, TU Dresden für die Arbeit „Untersuchung der Bestimmbarkeit der Oberflächenfeuchtigkeit von Beton mithilfe einer Polarisationkamera“.

Diese Dreiländertagung, die gemeinsam von der TU Dresden und der HTW Dresden hervorragend organisiert wurde, konnte mehr als 200 Besucher aus Wissenschaft und Praxis der Bereiche Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation zählen. Der eigentlichen Tagung war noch ein Workshop, der sich mit dem Einsatz von UAV (Drohnen) in den Umweltwissenschaften beschäftigte, vorgelagert. Die Themen und Inhalte der Fachsitzungen sind auf der Homepage der DGPF www.dgpf.de publiziert. Genau so wichtig waren aber auch die Poster-Präsentationen und die Fachfirmenausstellung mit 15 ausstellenden Firmen. Dass das wesentlichste Element des Tagungsbesuches der Austausch mit Kolleginnen und Kollegen während der Kaffeepausen war, muss wohl nicht erwähnt werden. Diesbezüglicher Höhepunkt war die festliche Abendveranstaltung im Sophienkeller Dresden, bei der die Preise verliehen wurden und auch Kurfürst August der Starke von Sachsen huldvoll Worte an die Versammlung richtete.

Wolfgang Gold



Die Intergео 2022 (www.intergeo.de) wurde heuer wieder hybrid veranstaltet, wobei im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren ein deutlicher Anstieg an physisch in Essen, Deutschland befindlichen Personen zu verzeichnen war. Umfangreiche Fachvorträge, Vernetzungsmöglichkeiten und eine Fachausstellung mit 457 Aussteller*innen eröffneten ein breites Spektrum an Information im Geo-Bereich. Aus technologischer Sicht sind neben den klassischen Vermessungsmethoden speziell kinematische Datenerfassungsmethoden mit bildgebenden und scannenden Verfahren sowie Künstliche Intelligenz stark im Vormarsch. Abseits der primär technologischen Fragestellungen ist auch das Thema Nachhaltigkeit auf der Intergео immer präsenter.

Die OVG war mit zwei Personen (Präsident Franz Blauensteiner und Generalsekretär Lothar Eysn) vor Ort, um Werbung für den anstehenden Geodätentag 2023 (OGT, www.geodaetentag.at) zu machen. Dabei wurden



OVG-Präsident Blauensteiner und DVW-Präsident Staiger

viele Firmen und Personen angesprochen, die potentielle Aussteller*innen und Teilnehmer*innen für den OGT darstellen. Als Werbemittel diente dazu der neue OGT Flyer sowie Infomaterial für Aussteller*innen. Zusätzlich fand eine Vernetzung mit den Kolleg*innen des DVW statt, wobei unter anderem Präsident Franz Blauensteiner den neuen Präsident des DVW Rudolf Staiger getroffen hat.

Abseits dieses Treffens war der Bereich Nachwuchs und Recruiting ein großes Thema. In einer speziellen Session des DVW zum Thema Nachwuchs wurden aktuelle Informationen für die Marke „Weltvermesserer“ präsentiert (www.arbeitsplatz-erde.de) mit der speziell der jungen Generation über moderne Social Media Auftritte das Berufsbild der Vermessung und Geoinformation nähergebracht wird. Eine ähnliche Bestrebung gibt es von den englischen Kolleg*innen mit der Marke „Get Kids Into Survey“ (www.getkidsintosurvey.com), wo Kinder mit dem Thema Vermessung und Geoinformation spielerisch in Kontakt gebracht werden. Zuletzt wurde ein Plakat herausgegeben, in dem die Welt ohne Vermessung dargestellt wird, um den Kindern zu zeigen wie wichtig unser Beruf ist.

Im Bereich Ausbildung gab es seitens OVG auf der Intergео eine Vernetzung mit KonGeoS (www.kongeos.org), die ein Verein im Bereich Geodäsie-Studierende sind. Kurz nach der Intergео hatte KonGeoS ein großes Treffen in Wien, das von der OVG unterstützt wurde (<https://wien22.kongeos.xyz>). Auch ein Treffen mit dem DVW Baden-Württemberg fand statt, wobei die OVG vieles über deren Werbemaßnahmen und die Aktionswoche Geodäsie (<https://aktionswoche-geodaesie-bw.de>) erfahren hat.

Generell zeichnet sich auch in Deutschland der Trend mit Nachwuchsproblemen und Recruiting-Problemen in



OVG-Präsident Blauensteiner und OVG-Generalsekretär Eysn

#wirsehenweiter
Von der Vision zur Anwendung
www.geodaentag.at

Willkommen zu erweiterten Perspektiven am
14. GEODÄTENTAG
Steyr, 10. - 11. Mai 2023

Flyer Geodätentag 2023

THEMENSCHWERPUNKTE:
Nachhaltigkeit und Geodäsie
Neue Technologien und Künstliche Intelligenz in Wissenschaft und Praxis

Kongress | Fachmesse | Vorträge
Standparty | Vernetzung

www.geodaentag.at

#wirsehenweiter
Impressum: ÖVG, Schiffamtgasse 1-3, 1020 Wien, www.oeg.at

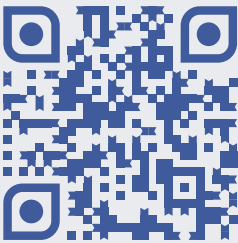
der Geo-Branche ab – zumindest wurde dies auf der heurigen Intergeo mehrfach thematisiert. Aus diesem Grund ist es wichtiger denn je unser Berufsbild und die damit verbundenen Tätigkeiten und Produkte zu bewerben. In Bezug auf die Intergeo war es schön zu sehen, dass sich nach den schwierigen Pandemiejahren wieder langsam ein „normaler“ Betrieb einspielt. Die Vielfalt an Technologien ist im Bereich Vermessung und Geoinformation größer denn je – jetzt braucht es nur noch den nötigen Nachwuchs, um diese Technologien auch in Zukunft zielsicher in den Einsatz zu bringen. An Fragestellungen und Aufgaben mangelt es jedenfalls nicht.

Lothar Eysn

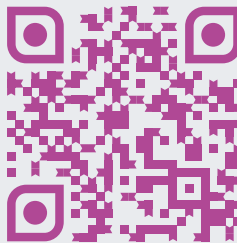
Folgen Sie uns auf Social Media!



...bereits über 600 Personen tun es schon !



shorturl.at/kptxE



shorturl.at/ekwxW



shorturl.at/jnDJ5

21. KonGeoS an der TU Wien



Von 27.10. bis 30.10.2022 fand die 21. Konferenz der Geodäsie-Studierenden (Abk. KonGeoS) in Wien statt. Jedes Semester ist eine andere deutschsprachige Hochschule Austragungsort der KonGeoS. Das Ziel dieser Treffen ist die Vernetzung der Studierenden untereinander, sowie der Kontakt mit wichtigen Unternehmen und Verbänden im Bereich der Geodäsie. Veranstaltet wurde die KonGeoS in Wien von uns, der Studienvertretung Geodäsie und Geoinformation der TU Wien.

Mit 168 TeilnehmerInnen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz fand die Veranstaltung regen Zuspruch. Auch bei vielen Firmen/Unternehmen und Vereinen fand das Treffen Anklang, sodass wir einige wertvolle Unterstützer gewinnen konnten.

Neben dem sozialen Aspekt stand vor allem auch das Fachliche im Fokus. So wurden sieben Fachexkursionen und vier Fachvorträge angeboten, um den TeilnehmerInnen einen Einblick in die verschiedensten Bereiche der Geodäsie zu geben.

Die Fachexkursionen waren sehr interessant und vielseitig. Die Stadt Wien (MA41) gewährte uns unter anderem einen Einblick in die Luftbilddauswertung und das virtuelle Wien. Währenddessen konnten sich im Wasserleitungsmuseum Kaiserbrunn manch andere einen Überblick über die Wiener Wasserversorgung verschaffen. Für die Wanderfreudigen bot sich das Angebot zum höchsten Punkt Wiens zu wandern, um den Ausblick vom Fundamentpunkt der österreichischen Landesvermessung zu genießen. Des Weiteren gab es die Möglichkeit, das „Rail Tec Arsenal“ mit dem momentan größten Klima-Wind-Kanal der Welt zu bestaunen oder eine Führung durch das Atominstitut der TU Wien mitzumachen. Zuletzt duften auch einige einen Blick auf den

U2/U5 Ausbau beim Besuch der Wiener Linien und der Strabag werfen.

Da für viele Wien selbst neu war, waren auch die Stadtextkursionen ein großes Highlight. Neben einer Innenstadtführung und einem Besuch in den Katakomben hatten die TeilnehmerInnen die Möglichkeit einen Vormittag im „Time Travel Vienna“ die Geschichte Wiens kennenlernen, das Parlament zu besuchen oder das Nationalhistorische und Technische Museum zu bestaunen.

Ein wichtiger Bestandteil dieser Treffen sind zudem auch die Arbeitsgruppen, in denen unterschiedliche Themen behandelt werden. Themen wie zum Beispiel die Nachwuchsgewinnung, die öffentliche Wahrnehmung der KonGeoS in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft oder Studieninhalte der Geodäsie an den verschiedenen Hochschulen.

Auch wenn uns die Organisation dieses Events teilweise sehr viel Geduld und Nerven gekostet hat, dürfen wir auf eine sehr gelungene Veranstaltung zurückblicken. Wir freuen uns vor allem auch über das positive Feedback, welches wir erhalten haben. Weiters möchten wir uns bei all jenen bedanken, die uns in irgendeiner Weise unterstützt haben und dadurch das Event möglich gemacht haben. Wir sind stolz darauf, dass wir die 21. Konferenz der Geodäsie-Studierenden in Wien veranstalten durften und freuen uns im nächsten Semester bei der KonGeoS in Karlsruhe wieder als Gäste teilnehmen zu dürfen.

*Olivia Panzenböck, Lena Wohlgenannt,
Christoph Neumayr, Benjamin Stifter*
Studienvertretung Geodäsie und Geoinformation
(TU Wien)

Grenzsteine, die Geschichten erzählen

Markstein

Mark ist in der deutschen Sprache die ursprüngliche Bezeichnung für Grenzzeichen und die Grenze selbst.

*mark,
zeichen, mhd. marc, mnd. mark und merk
grenzzeichen eines landstückes, und die so hergestellte grenze selbst
grenze des zusammengehörigen grundes und bodens einer genossenschaft, gemeinde u. ähnl.,
mittellat. marchia, marcha die march, marchstein.¹⁾*

In vielen gebräuchlichen Bezeichnungen ist das Wort noch enthalten: Markierung, vermarken, Markscheider, March-Fluss, Steiermark. Markstein ist also eine alte Sprachform für den Grenzstein.

Das Wort Grenze ist aus dem Slawischen „granitza“ entlehnt. Wir finden die ursprüngliche Sprachform noch heute in den geographischen Bezeichnungen „Krain“ oder „Ukraine“, dem „Land jenseits der Grenze“.

Um die Mitte des 13. Jahrhunderts wurde die Bezeichnung Grenze im Deutschordensland (heute Polen) übernommen und hat das Wort „Gemerke“ (vgl. Gemarkung) ersetzt. Im 15. Jahrhundert dringt das Wort aus den östlichen Grenzgebieten nach Westen und findet in der 1. Hälfte des 16. Jahrhunderts allgemeine Verbreitung zunächst in den Gebieten, die sich der Reformation öffneten. Durch Luther wurde es in die Hochsprache aufgenommen.²⁾

Der hier abgebildete Grenzstein 310 steht am Markstein, einer 766 m hohen Bergkuppe am Höhenrücken des Schöpfl in Niederösterreich. Die ursprünglichen Buchstaben „K K“ von „K K F AE“ (Kaiser-Königliches

Forst Aerar) wurden teilweise mit „BF“ für „Bundesforste“ übermalt.

Es handelt sich um einen vierfachen Grenzpunkt, der eine Ecke des ehemals landesfürstlichen Wienerwalds (jetzt Bundesforste) kennzeichnet. Hier treffen vier Grundstücke und die Katastralgemeinden St. Corona, Oberriesting, Klamm und Wöllersdorf, die drei Gemeinden Altenmarkt an der Triesting, Lilienfeld und Brand-Laaben sowie die Bezirke Baden und St. Pölten zusammen.

Aber nicht nur hier hat sich die Bezeichnung des Steins auf den Berg übertragen. Der „Dreimarkstein“ an der Wiener Stadtgrenze ist ein weiteres Beispiel. Dreimarksteine gibt es auch auf der Rax und im Ödenburger Gebirge.

Markstein ist auch der Name einer Reihe von geographischen Objekten, z.B. einer Ortschaft in der Gemeinde Feldkirch³⁾, einer Streusiedlung in der Gemeinde Garming, einem Ortsteil der Gemeinde Wolfsbach, einem Berg in der Gemeinde Haag, einem Ortsteil von Brandenberg u.a. Die ÖK 50 ist voll von „Marksteinen“.

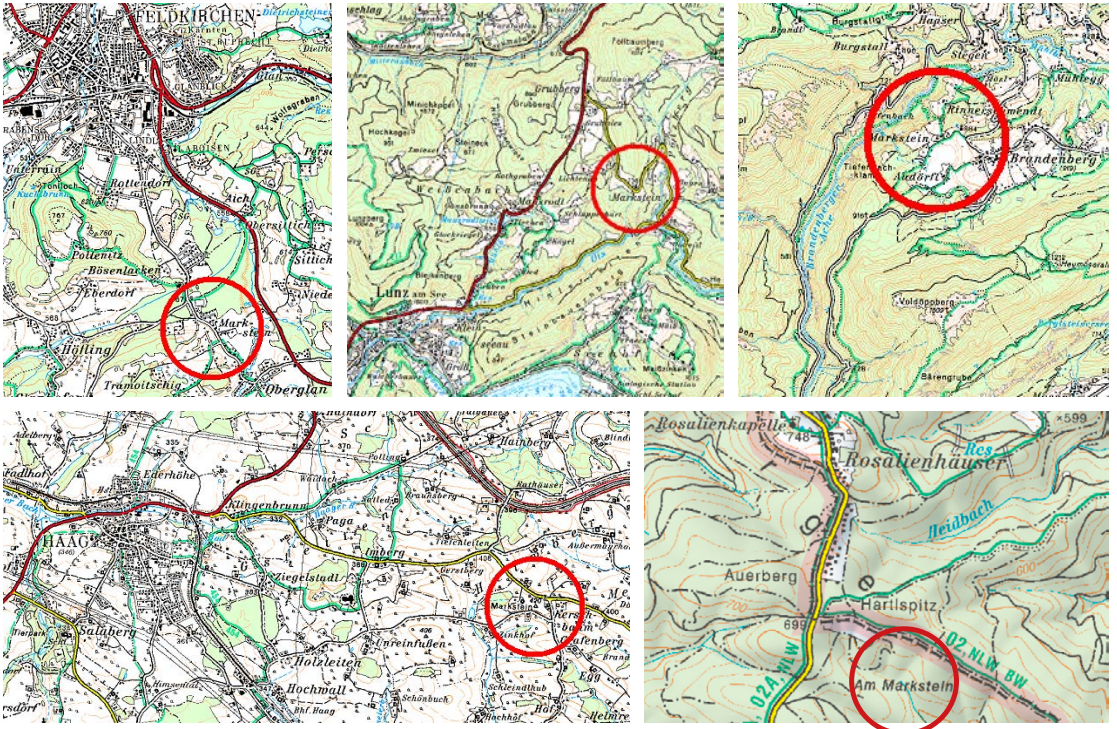
Auch auf Triangulierungspunkte hat sich die Bezeichnung „Markstein“ übertragen, so auf TP 35-52 (MARKSTEIN), TP 293-202 (MARKSTEIN), aber auch TP 123-71 (MARKSTEINER), TP 174-19 (MARKSTEINER) und TP 709-77 (MARKSTEIG).

Der Triangulierungspunkt 1. Ordnung TP 151 (MARKSTEIN), der heute auf tschechischem Gebiet liegt, soll noch besonders hervorgehoben werden:



Position von Grenzstein 310, Quelle: freytag & berndt, Wanderatlas Wienerwald

Foto: Christoph Twaroch



Auf dem Berg Vysoky Kamen (Hoher Stein), nördlich von Nová Bystrice (Neubistritz) steht ein Steinmonument als dreifacher Grenzstein und als Triangulierungspunkt TP 151. Vysoky Kamen ist der höchste Punkt im Bezirk Jindřichuv Hradec an der Grenze von Böhmen und Mähren. Im 16. Jahrhundert trafen hier die Grenzen der drei Diözesen Prag, Olmütz und Passau, später die alten Grenzen von Böhmen, Mähren und Österreich zusammen. Der frühere Name des Berges Markstein hat sich in der Bezeichnung des TP erhalten.

Auf der Spitze des Felsens wurde um 1842 ein Triangulierungspunkt errichtet. Eine Informationstafel weist auf die mitteleuropäische Gradmessung, das trigonometrische Netz und die Triangulation als Grundlage für die Katastervermessung hin. In den jährlichen Generalberichten über die Leistungen des Militärgeographischen Instituts in Wien sind u. a. für 1864 die „*Recognoscirung und Feststellung der Punkte im südöstlichen Böhmen*“, für 1865 der Abschluss der Beobachtungen am Punkt Markstein und für das Jahr 1891 Polhöhen- und Azimutmessungen „*in Böhmen auf dem Punkte Markstein, an der mährischen Grenze*“ vermerkt.⁴⁾

Christoph Twaroch

- 1) Deutsches Wörterbuch von Jacob und Wilhelm Grimm
- 2) Twaroch, Von inneren und äußeren Grenzen - Eigentum im Spannungsfeld von Individuum und Gesellschaft, VGI, 1994/4,346. Kluge, Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache.
- 3) Siehe dazu: Kollenprat: Die Illyrische Grenze, VGI 2021/1, 34.
- 4) Zeger, Die historische Entwicklung der staatlichen Vermessungsarbeiten, Band III Gradmessung, 227 ff, 430.



TP 151 (MARKSTEIN), Foto: Christoph Twaroch

Aus dem Vereinsleben

**Herzliche Gratulation zu einem Jubiläum im
September, Oktober, November 2022**

50. Geburtstag

Dipl.-Ing. Michael Brunner, Eisbach-Rein

60. Geburtstag

Dipl.-Ing. Wolfgang Gold, Wien

Ing. Mag. Roland Mittermaier, Wien

o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Weinold, Innsbruck

70. Geburtstag

Dipl.-Ing. Kurt Holler, Artstetten

75. Geburtstag

Dipl.-Ing. Josef Kobaschitz, Pottendorf

80. Geburtstag

Dipl.-Ing. Herbert Egger, Langenlois

Wir begrüßen als neues Mitglied

Dipl.-Ing. Markus Schneeberger, Leutschach

Dipl.-Ing. Dr. mont. Klaus Haberz, Leoben

Hadi Karimi, Iran

Dipl.-Ing. Roland Aschauer, Linz

Dipl.-Ing. Yannic Öhlknecht, Wien

Dipl.-Ing. Gabriel Fink, Wien

Wir trauern um die Verstorbenen

Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Fritz Brunner ist am
19. Juni 2022 im 80. Lebensjahr verstorben.

Prof. Dr. Helmut Moritz ist am 21. Oktober 2022 im
89. Lebensjahr verstorben.

Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günther Schelling ist am
16. November 2022 im 100. Lebensjahr verstorben.

Dipl.-Ing. Dieter Wenter ist am 17. November 2022 im
83. Lebensjahr verstorben.

**em.o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.
Fritz K. Brunner**

1943 – 2022



Nachruf

Mit großen Bedauern mussten wir erfahren, dass am 19. Juni 2022 mit Prof. Fritz Brunner eine der prägendsten Persönlichkeiten der Ingenieurgeodäsie im 80. Lebensjahr verstorben ist.

Fritz K. Brunner hat Vermessungswesen an der TU Wien studiert. Dort promovierte er 1972 zum Doktor der technischen Wissenschaften. Parallel zu seiner wissenschaftlichen Tätigkeit war er stets sportlich aktiv, insbesondere im Wasserball und später auch im Tennis.

Nach zwei Jahren beruflicher Praxis nahm Fritz Brunner eine Stelle als Assistent an der TU Wien an. Jedoch zog es ihn bald in die Ferne und in seiner darauffolgenden Zeit als Lecturer an der School of Surveying, University of New South Wales (Australien) hat er sich intensiv mit der geodätischen Refraktion beschäftigt. Dieses allgegenwärtige Problem der ingenieurgeodätischen Messungen hat ihn bis zu seinem Lebensende nicht mehr losgelassen. Seine Bücher und Beiträge dazu zählen als Standardwerke der Fachliteratur. Die nächste Station war im Jahr 1981 die Universität Stuttgart, auf welcher er als Alexander von Humboldt Stipendiat forschte.

Von der Wissenschaft ging es zur Industrie. Von 1982 bis 1986 war er als Gruppenleiter bei Wild Heerbrugg AG (Schweiz) für die Entwicklung des berühmten Wild Magnavox WM 101 GPS Empfängers verantwortlich. Dieser wurde 1985 am Markt eingeführt und war der Beginn der GNSS Produktlinie von Wild, später Leica Geosystems.

Von der Schweiz führte der Weg wieder zurück nach Australien wo er 1986 als Professor und Direktor an die School of Surveying der University of New South Wales

berufen wurde. Seine bis dahin getätigten Leistungen wurden 1990 von der Österreichischen Geodätischen Kommission durch die Verleihung der Friedrich Hopfner Medaille gewürdigt.

Im Oktober 1994 wurde Fritz Brunner als Professor für Ingenieurgeodäsie als Nachfolger von Prof. Günther Schelling an die TU Graz berufen. Das bereits bekannte Messlabor erweiterte er nachhaltig und durch seine Innovationen gelangte es zu weltweiter Bekanntheit. Unter seiner Leitung sind unter anderem der Vertikal-komparator zur Systemkalibrierungen von Nivelliersystemen, die Kreiselprüfeinrichtung zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit von Vermessungskreisel und die faseroptische Dehnungskalibrieranlage entstanden. Fritz Brunner war immer seiner Zeit voraus und einer der ersten, der GPS Messungen zum Langzeitmonitoring instabiler Hänge einsetzte. Das von ihm gemeinsam mit Prof. Ewald Brückl von der TU Wien initiierte Gradbach-Observatorium verwendet GPS Messungen seit 1999 und ist somit eine der längsten satellitenbasierten Hangbeobachtungseinrichtungen weltweit. Großen Weitblick hat Prof. Brunner auch bei der Einführung der Faseroptik in die Ingenieurgeodäsie gehabt. Im Jahr 2000 war die Überwachungsmessung mit Glasfasern noch eine Seltenheit, während heutzutage diese Technologie standardmäßig bei vielen Ingenieurbauten zum Langzeitmonitoring eingesetzt wird.

Die nationale und internationale Zusammenarbeit waren für ihn eine Selbstverständlichkeit und gemeinsam mit den TU Graz Partneruniversitäten ETH Zürich und TU München hat er fünfmal den internationalen Ingenieurvermessungskurs organisiert. Ebenso war er von 1995 – 1999 Präsident der Sektion 1 „Positioning“ der International Association of Geodesy (IAG). Von 2001 bis 2007 hat er als Präsident die Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) geleitet.

Neben der bemerkenswerten Forschungspersönlichkeit war Prof. Brunner ein leidenschaftlicher Lehrender. Bis zu seiner Emeritierung im Herbst 2011 hat er acht Dissertationen und mehr als 35 Diplomarbeiten betreut. Die Nachhaltigkeit seines Wirkens zeigt sich auch darin, dass bereits drei seiner Schüler zu Professoren berufen worden sind.

Ich bin stolz, Nachfolger von Prof. Brunner zu sein und könnte mir keinen besseren Doktorvater vorstellen. Fritz Brunner hat mich mit der Faseroptik in Kontakt gebracht und in mir eine Leidenschaft für diese neue Technologie geweckt, welche mich nun mein wissenschaftliches Leben lang begleitet. Mit dem Tod von Prof. Brunner verliert die Ingenieurgeodäsie eine stets innovative Persönlichkeit, einen kritischen Denker und einen großartigen Mentor.

Werner Lienhart

**em.o.Univ.-Prof. DI Dr. Dr.h.c.mult.
Helmut Moritz**

1933 – 2022



Nachruf

Mit großer Betroffenheit, ja persönlicher Trauer, nehmen wir Kenntnis vom Tod eines genialen Wissenschaftlers und begnadeten akademischen Lehrers: Helmut Moritz, der uns am 21. Oktober 2022 kurz vor Vollendung seines 89. Lebensjahres verlassen hat.

Am 1. November 1933 in Graz geboren, besuchte Helmut Moritz das Akademische Gymnasium in Graz. Seinen Vater verlor er im Krieg und so wuchs er unter sehr schwierigen Bedingungen auf. Seine hohe Begabung, verbunden mit einem ausgeprägten Interesse an Mathematik, Naturwissenschaften, Musik und Sprachen wurde bereits während seiner Gymnasialzeit erkannt. An der damaligen Technischen Hochschule Graz (heute Technische Universität Graz) studierte er Vermessungswesen, graduierte 1956 zum Dipl.-Ing. und promovierte mit seiner Doktorarbeit „Fehlertheorie im Funktionenraum“ im Jahr 1959 sub auspiciis Praesidentis zum Dr.techn. – eine frühe geniale Arbeit, die erstmals den unendlich-dimensionalen Hilbert-Raum in die Geodäsie einführte. Im gleichen Jahr heiratete Helmut Moritz auch seine geliebte Gerlinde, die ihm zwei Kinder schenkte, Berta und Albrecht.

Nach einer dreijährigen beruflichen Tätigkeit am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen folgte 1962 eine Einladung des Department of Geodetic Science der Ohio State University als dem damaligen Mekka der Geodäsie unter der Leitung von Weikko A. Heiskanen, mit dem Helmut Moritz auch bereits sein erstes wissenschaftliches Buch verfasste, das zu einem Bestseller geworden ist, in zahlreiche Sprachen übersetzt wurde und bis heute nicht an Aktualität eingebüßt hat: „*Physical Geodesy*“.

Kaum von Columbus nach Graz zurückgekehrt, erhielt Helmut Moritz nach erfolgter Habilitation im Jahr 1964 einen Ruf als Privatdozent an die Universität Hannover und im selben Jahr den Ruf als ord. Professor an die TU Berlin. In diese Zeit fällt seine intensive Forschungstätigkeit zum Molodensky-Problem.

Und während der heißen Phase der Studentenunruhen 1968 ereilte ihn plötzlich ein Ruf aus Graz, den er jedoch nicht annahm – noch nicht, denn drei Jahre später war es dann endgültig so weit: Berufung als ord. Univ.-Professor an die damalige Technische Hochschule Graz im Jahr 1971. Diese Phase seiner Forschungstätigkeit ist zentral mit dem Thema „*Kollokation nach kleinsten Quadraten*“ verbunden – eine Ausgleichung im Hilbert-Raum mit zwei Vätern des Gedankens: Helmut Moritz und Torben Krarup.

Mit Helmut Moritz wurde ein junger und sehr dynamischer Professor nach Graz berufen, der das Buch der theoretischen Geodäsie nicht bloß übermalt, sondern völlig neu geschrieben hatte und von seinen Studierenden nicht nur verehrt, sondern vielmehr ehrfürchtig umarmt wurde. Er verstand es von Anbeginn, seine Studierenden für sein Fachgebiet zu interessieren, deren Neugier zu wecken und hatte die Gabe, selbst sehr komplizierte Zusammenhänge so leichtverdaulich und appetitanregend darzustellen, dass man den Eindruck hatte, auch alles verstanden zu haben. Dabei folgte er stets der Empfehlung von Albert Einstein, wonach man die Dinge so einfach wie möglich machen sollte, jedoch nicht einfacher. Ja, Einfachheit ist in der Tat das Resultat der Reife.

Und diese seine Grazer Zeit wurde zu einer außerordentlich intensiven, wissenschaftlich sowieso, aber auch stark geprägt durch seine internationale Ausrichtung und folglich durch eine stark internationale Atmosphäre im gesamten Institut. Helmut Moritz behauptete von sich selbst, dass das Jahrzehnt von 1975 – 1985 das interessanteste und kreativste seines Lebens gewesen sei. So entstanden hochkarätige Publikationen zum geodätischen Randwertproblem, zur Erdrotation und der Theorie der Nutation und Polbewegung, zu relativistischen Effekten in Bezugssystemen, zur Satelliten-Gradiometrie bis hin zur Realisierung des Geodätischen Bezugssystems 1980. „*Least squares collocation*“ entwickelte sich zu einem außerordentlich leistungsfähigen und im Bereich der physikalischen Geodäsie weltweit angewandten wissenschaftlichen Werkzeug. Und es war natürlich Helmut Moritz, der Kollokation in allen ihren Facetten im Fundamentalwerk „*Advanced Physical Geodesy*“ wissenschaftlich einbettete. Gemeinsam mit I.I. Mueller verfasste er das umfangreiche Werk „*Earth Rotation: Theory and Observation*“. Sein mit B. Hofmann-Wellenhof verfasstes Buch „*Geometry, Relativity, Geodesy*“ kann

als ein wunderschöner Brückenbau von der gekrümmten Fläche hin zum gekrümmten Raum verstanden werden, und sein Werk „*Science, Mind and the Universe*“ als eine wissenschaftliche Reise in die unermesslichen Weiten unseres Universums und deren Reflexion durch den menschlichen Verstand. Der internationale Bedarf nach einer überarbeiteten Neuauflage seines Erstwerkes „*Physical Geodesy*“, nun gemeinsam mit B. Hofmann-Wellenhof verfasst, schließt den Kreis seiner wissenschaftlichen Bücher wohltuend ab.

Zeitgleich mit seiner Emeritierung im Jahre 2002 erlitt Helmut Moritz ein schwerer Schicksalsschlag: der Tod seiner geliebten Gattin Gerlinde, die für ihn nicht nur Lebensbegleiterin und Familienklammer war, sondern vielmehr auch Beraterin und Diskussionspartnerin, auch in wissenschaftlichen Fragen. Diese Zäsur bildet sich auch in seiner starken Hinwendung zu Philosophie der Naturwissenschaften, zu Philosophie und Religion bis hin zu Metamathematik und Metabiologie ab. So umfasst das gesamte wissenschaftliche Werk von Helmut Moritz mehr als 230 Publikationen und 9 Bücher, die zum Teil in mehrere Sprachen übersetzt wurden.

Helmut Moritz führte aber nicht nur einen sehr feinen wissenschaftlichen Schreibstift, sondern stieg auch seit seiner Berliner Zeit die Treppenleiter wissenschaftlicher Funktionen konsequent wie auch steil nach oben: Vom Vorsitz der Deutschen und später auch der Österreichischen Geodätischen Kommission, über den Vorsitz einer Studiengruppe der IAG und Präsident einer IAG-Sektion, IAG-Vizepräsident und danach postwendend IAG-Präsident, gefolgt vom weiteren Aufstieg zum IUGG-Präsidenten und letztlich zum Büromitglied des International Council of Scientific Unions – eine drei Jahrzehnte währende internationale Bilderbuchkarriere auf höchstem Niveau fürwahr! Und gleichsam zur Abrundung seines internationalen Profils wurde Helmut Moritz auch noch zum Präsidenten der Internationalen League of Humanists in Sarajevo sowie zum Generaldirektor des Inter-University Centre in Dubrovnik bestellt.

Manche Kolleg/innen meinten wohl, dass seinen internationalen Karrieresprüngen auch solche innerhalb der Universität logisch folgen sollten, und so wurde Helmut Moritz mehr als nur einmal die Funktion eines Dekans angeboten. Er lehnte jedoch immer dankend ab mit dem Hinweis, dass er Außenpolitik sehr viel mehr schätze als Innenpolitik. Konsequent hielt er sich also an die fragende Empfehlung des Euripides, der einst meinte „*Du sagst, der Thron sei lockend? Für den weisen Mann mitnichten!*“. (Der Verfasser dieses Nachrufs kann aus eigener Erfahrung diese seine konsequente Haltung sehr gut nachempfinden und wahrlich als weise bezeichnen. Wie viel ärmer wäre die theoretische Geodäsie doch, hätte

sich Helmut Moritz zur Funktion eines Dekans oder gar eines Rektors beknien lassen!)

Dass Helmut Moritz wissenschaftlich genial war, ist wohl unbestritten und vielfach bezeugt. Dass er aber auch sprachlich ebenso begabt war, sei beeindruckend hinzugefügt: Griechisch und Latein zu beherrschen galt für Absolventen eines humanistischen Gymnasiums gleichsam als selbstverständlich, und Englisch lernt man meist ohnehin „on the job“. Dass es aber im Laufe seiner Lebensjahre 14 (!) Sprachen werden sollten, die er durch Gespräche mit „native speakers“ regelmäßig trainierte, das ist kaum mehr vollstellbar. Und in seinen letzten Lebensjahren hat er sich sogar besonders intensiv mit Hebräisch und Arabisch beschäftigt!

Besonders begnadete Wissenschaftler entwickeln oft auch eine Liebe zu Musik und Literatur. Das gilt auch in hohem Maße für Helmut Moritz: das Klavierspiel hat er seit seiner Gymnasialzeit möglichst jeden Tag praktiziert, das Spiel auf der Orgel als der Königin der Instrumente hat er als Organist seiner Kirchengemeinde gleichsam geschenkt. Und was sein literarisches Interesse anlangt, so ist das ebenso breit, es war aber vor allem Adalbert Stifter, dem er ganz besonders zugeneigt war.

Eine Karriere in dieser Breite und gleichzeitig Tiefe bleibt natürlich nicht unbeachtet und so wurde Helmut Moritz auch mit einer großen Zahl höchster Ehrungen bedacht: die Gauß-Medaille, die Alexander-von-Humboldt-Medaille und die Kopernikus-Medaille stehen hier exemplarisch für eine große Zahl weiterer höchster internationaler Auszeichnungen. Die wissenschaftlichen Akademien waren ebenso sehr daran interessiert, einen wissenschaftlichen Superstar wie Helmut Moritz in ihren prominenten Reihen zu sehen. Und so wurde Helmut Moritz in 15 (!) wissenschaftliche Akademien als Mitglied berufen.

Drei Universitäten mit klingendem Namen und internationaler Reputation durften Helmut Moritz für seine großen wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der theoretischen Geodäsie mit einem Ehrendoktorat ausstatten: die Technische Universität München, die Ohio State University und MIIGAİK, die Geodätische Universität in Moskau. Und auch die Technische Universität Wuhan hat sich mit einer Ehrenprofessur für seine wissenschaftliche Unterstützung der Geodäsie in China dankend eingestellt.

Hochkarätige Wissenschaftler werden mitunter von sehr verständnisvollen und unterstützenden Partnerinnen begleitet und der Familie im wahrsten Sinne des Wortes getragen. Dies gilt für seine geliebte Gattin Gerlinde wie auch für seine Tochter Berta sowie für seinen Sohn Albrecht gleichermaßen. In der erweiterten Familie in Form seiner Mitarbeiter/innen und seiner Fachkolleg/

innen im nationalen wie auch internationalen Umfeld fand Helmut Moritz nicht bloß Bewunderung, sondern vielmehr eine wohlthuende Einbettung wie es einem wunderbaren Menschen gebührt.

Und so verabschieden wir uns von Helmut Moritz, einer außerordentlichen Persönlichkeit, die neben bewundernswerten wissenschaftlichen Leistungen gleichzeitig große Bescheidenheit, Humor und Zielstrebigkeit mit Leben erfüllt hat, mit einem aufrichtigen und herzlichen Dankeschön.

Hans Sünkel

em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter Schelling

1923 – 2022



Nachruf

Am 16. November 2022 ist em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Günter Schelling im 100. Lebensjahr gestorben.

Geboren am 1. November 1923 in Dornbirn, getauft auf den Namen Günther Freimut Karl, wuchs er in behüteter Umgebung auf und maturierte 1941 an der hiesigen Realschule mit Auszeichnung.

Danach folgten 4 Jahre Kriegsdienst und schließlich britische Gefangenschaft. Nach Kriegsende absolvierte Günther Schelling an der Universität Innsbruck das Lehramtsstudium der Mathematik und Darstellenden Geometrie in 6 Semestern und unmittelbar anschließend das Studium des Vermessungswesens an der Technischen Hochschule in Graz in 4 (!) Semestern. Dieses „Kürzeste Geodäsie-Studium aller Zeiten“ (Zit. Prof. Schelling) be-

gründeter er selbst damit, dass ihm etliche Fächer seines ersten Abschlusses angerechnet wurden. Wer Prof. Schelling kannte, wusste, dass auch seine eiserne Disziplin und Konsequenz einen Gutteil dazu beitrugen. Im Rahmen einer Anstellung als wissenschaftliche Hilfskraft verfasste er eine Dissertation, welche er mit summa cum laude abschloss.

Einer der Leitsätze von Günther Schelling war: *„Ein Ingenieur ohne möglichst vielseitige und anspruchsvolle Praxis, in der zum theoretischen Wissen die Erfahrung und die Realität vielseitiger äußerer Zwänge gehört, schien mir wie ein Torso“*.

So ergab es sich, dass Dr. Schelling nach einem Jahr als Assistent am International Training Center for Aerial Survey in Delft mit Kontakt zu Kapazitäten wie Willem Schermerhorn und Vening Meinesz, den Weg zurück in seine Heimat fand, um in Dornbirn 1956 eine eigene Vermessungskanzlei zu gründen. Wenig später folgte er dem Ruf der Vorarlberger Illwerke, die Abteilung Vermessung zu übernehmen. Da er seine Kanzlei nicht aufgeben wollte, schloss er sich mit einem Kompagnon zusammen und nahm die Stelle bei den Illwerken als Externist an. Beim Bau der Kops-Staumauer in den Jahren 1962 bis 1969 war Dr. Schelling verantwortlicher Vermessungsingenieur.

Seinem Wesen entsprechend interessierte sich Prof. Schelling als Ingenieurkonsulent stets für anspruchsvolle Projekte. So wurde ihm Anfang der 1970er-Jahre die Netzmessung für den Bau des Arlberg-Straßentunnels anvertraut - auch die Hauptkontrollvermessungen während der Vortriebsarbeiten lagen in seiner Verantwortung. Weitere Tunnelprojekte in Österreich, Deutschland, Saudi Arabien und Italien folgten.

Gemeinsam mit Prof. Stoltzka führte Prof. Schelling die optische 3D-Verformungsmessung als wichtiges Instrument zur Beurteilung des Gebirgsverhaltens bei der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise ein. Das Ver-

suchsfeld bildete der Langener Tunnel bei Klösterle in Vorarlberg. Erstmals im großen Stil umgesetzt wurde die Methode beim Vortrieb des Inntaltunnels und im Bauabschnitt UK Undersea Crossover des Eurotunnels, jeweils Projekte von Prof. Schelling als Ziviltechniker.

Weitere Meilensteine aus der praktischen Arbeit von Prof. Schelling waren die Vermessungsarbeiten zum Bau der Trans-Alpin-Gasleitung (TAG II), der Mitte-Deutschland-Anbindungsleitung (MIDAL), der Sachsen-Thüringen-Anbindungsleitung (STEGAL) sowie der Tiroler Ferngasleitung (TFG). Alle diese Projekte wurden mit softwareunterstützter digitaler Datenerfassung realisiert, was in den späten 1980er-Jahren und noch länger keine Selbstverständlichkeit war.

Im Jahr 1981 wurde Dr. Schelling als ordentlicher Universitätsprofessor für Allgemeine Geodäsie und Photogrammetrie an die Technische Universität Graz berufen. Nebst seiner Professur bekleidete Prof. Schelling von 1987 bis 1988 das Amt des Dekans der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften. Für die Periode 1989 bis 1991 wurde er zum Rektor der TU Graz gewählt.

In dieser Zeit wurde Prof. Schelling vom damaligen Wissenschaftsminister Erhard Busek mit der Installation eines „fachhochschulartigen Studienversuchs Fertigungsautomatisierung“ in Dornbirn beauftragt. Auf Basis dieses Pilotprojektes wurde 1993 das Fachhochschulstudiengesetz erlassen. Prof. Schelling hat damit österreichische Bildungsgeschichte geschrieben. Seine Heimatstadt Dornbirn hat ihm in Anerkennung dieser Pionierleistung den Ehrenring der Stadt Dornbirn verliehen.

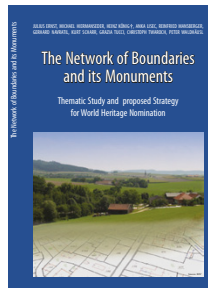
Für mich persönlich war Günther zunächst der gestrenge und fordernde Lehrer, später scharfsinniger, alles bedenkender Chef und letzten Endes wohlwollender Mentor und Freund.

Martin Ehrhart

Buchbesprechungen

Michael Hiermanseder (Editor) **The Network of Boundaries and its Monuments**

Thematische Studie
OVG, Wien, 2022, 204 Seiten.
auf der OVG Homepage online
unter „Bibliothek“ /
„Weitere Fachartikel“



Eine Gruppe von Experten aus verschiedenen europäischen Ländern zeigt in dieser Studie das Netzwerk von Grenzlinien auf. An Hand von historisch herausragenden Grenzsteinen an Grundstücks- bzw. Verwaltungseinheiten werden die kulturellen Leistungen des friedlichen Zusammenlebens durch Vereinbarung der Grenzen in Natur und Dokumentation und den damit verbundenen Prozessen des Landtransfers in den Kataster- und Grundbuchsorganisationen dargelegt. Dazu haben sich Vertreter aus Ländern mit ähnlichen Konzepten für Kataster und Grundbuch zusammengefunden. Diese Länder haben das Realfolienprinzip, Grundstücksgrenzen werden vermessen = fixed boundary-Prinzip und Eigentumsrechte als Titel eingetragen = title-Prinzip.

Grenzsteine sind also Denkmäler dieses kulturellen Entwicklungsprozesses und wurden als UNESCO-Weltkulturerbe vorgeschlagen.

In dieser Studie werden sowohl die Entwicklung, Unterschiede und Wert dieses Kulturgutes als auch die Bemühungen zur Einreichung als UNESCO-Weltkulturerbe aufgezeigt. Der Antragstellungsprozess wurde aber letztlich wegen des finanziellen und administrativen Aufwandes derzeit auf Eis gelegt.

Diese thematische Studie ist ein Referenzwerk für das Thema Eigentumsgrenzen in Europa und ein „Appetizer“ in Wort und Bild für Alle, die an der Vielfalt der historischen Grenzsteine in verschiedenen europäischen Ländern Interesse haben.

Die Studie wurde nur in begrenzter Anzahl gedruckt und ist daher im Buchhandel nicht erhältlich, steht aber online auf der OVG Homepage unter „Bibliothek“ / „Weitere Fachartikel“ und dem Link https://www.ovg.at/media/filer_public/cd/92/cd928116-a20e-4e47-b364-16a91b35303b/thematic_study_lr.pdf zur Verfügung.



Gerhard Muggenhuber

Hans-Christian Pust (Hg.) **Fantastische Welten. Kartographie des Unbekannten**

Jan Thorbecke Verlag,
Ostfildern, 2021,
192 Seiten, € 28,80.
ISBN 978-3-7995-1544-3



Diese Publikation erscheint als Katalog zur gleichnamigen Ausstellung in der Württembergischen Landesbibliothek Stuttgart, die vom 04.08. bis 03.10.2021 stattfand, und ist dementsprechend in zwei Teile aufgebaut – Karten, die die reale, tatsächlich existierende Welt abbilden und Karten, die imaginäre, erdachte Welten repräsentieren. Unzählige Abbildungen geben einen detaillierten Einblick in die vor Ort gezeigten Karten, die in dieser Publikation textlich aufbereitet sind.

„Ins Unbekannte“, der erste Teil dieses Buches führt anfangs in eine „Welt zum Entdecken“, der die frühesten kartographischen Darstellungen der Erde beinhaltet, die jedoch weniger die reale Welt abbildeten als die jeweils vorherrschende Weltanschauung, die oft von religiösen Vorstellungen geprägt war. Hierzu zählt beispielsweise die *TO-Karte* des Isidor von Sevilla, während das antike Wissen in der *Cosmographia* des Claudius Ptolemäus mehr das echte Erscheinungsbild der damals bekannten Welt zeigt. „Die Eroberung der Welt per Landkarte führt den Reisenden von einer symbolischen Lektüre des Universums zur mathematischen Beherrschung des Raums.“ (S.9) Die farbenprächtigen Karten der bedeutendsten Kartographen des 16. Jahrhunderts wie Gerhard Mercator und Abraham Ortelius zeigen die Erkenntnisse der Entdeckungsfahrten. Um leere Stellen auf Karten nicht weiß zu belassen, wurden diese beispielsweise mit Fabelwesen und exotischen Pflanzen bedeckt.

Die zuvor entdeckte Welt wird nun eine „Welt zum Erforschen“, deren Erkenntnisse wissenschaftlich belegt wurden. „Das Ausfüllen der Lücke auf der Landkarte ist das Ziel aller Forschungsreisenden.“ (S.58) Zu Beginn dieses Unterkapitels werden Zeichnungen von Instrumenten zur Positionsbestimmung und Navigation (Astrolabium, Theodolit) gezeigt, mit deren Hilfe das zu kartierende Gebiet vermessen wurde, um genaueres Kartenmaterial erstellen zu können. In der Folge werden drei lange ungeklärte Rätsel der Expeditionsgeschichte gelöst – die Lage der Quellen des Nils, die Existenz der

sagenhaften Goldstadt El-Dorado in Südamerika und das Gebiet des Mekong mit der Wiederentdeckung der Stadt Angkor.

Der zweite Teil zeigt den Weg „Von der Fiktion zum Werk“. Menschen entwarfen Jahrhunderte hindurch eine fantastische Kartenwelt, die ursprünglich nur in deren Köpfen existierte und später als „Eine Welt zum Erfinden“ zu Papier gebracht wurde. „*Um Orte zu veranschaulichen, die außerhalb der Grenzen der Fiktion liegen, erweist sich die Karte als ein bemerkenswertes Instrument der Synthese. Die Landkarte nimmt einen einzigartigen Platz ein – an der Schnittstelle von Wissen und Ästhetik.*“ (S.9) In der Literatur und Kartographie entstehen damit „Eine Welt zum Erfinden“. Beispielsweise erschuf Johann Baptist Homann eine Karte des *Schlaraffenlandes*. Mit den Werken von Daniel Defoe, Jonathan Swift und Jules Verne sind untrennbar Reisen in fantastische Welten verbunden, die sich in Karten manifestieren und zu deren Greifbarmachung beitragen. Die Verortung von J.R.R. Tolkiens *Mittelerde* darf hier keinesfalls fehlen.

Abschließend wird im letzten Unterkapitel „Eine Welt zum Erschaffen“ gezeigt, die künstlerisch inspiriert ist. Zu den bekanntesten Beispielen gehören der *Leo Belgicus* (Franz Hogenberg) und die Allegorie der *Königin Europa* aus der *Cosmographia* von Sebastian Münster. Humoristische Landkarten gelten als ein Kind ihrer Entstehungszeit, indem sie eine Art politischer Karikaturen darstellen. Letztendlich können Karten auch als Ausgangspunkt für Kunstobjekte unterschiedlichen Charakters dienen.

Fazit: Obwohl es sich bei dem vorgestellten Werk um den Begleitband zu einer Ausstellung handelt, ist es als eine eigenständige Publikation anzusehen. Präsentiert werden eine Vielzahl an Karten mit ausführlichen bibliographischen Angaben sowie ausführlichen Hintergrundinformationen. Das Literaturverzeichnis zu den jeweiligen Textbeiträgen zeugt von der wissenschaftlichen Intention, damit einhergehend ist ein qualitativ hochwertiger Druck.

„Als ein mit großer Suggestivkraft ausgestattetes Dokument stellt die Landkarte eine ideale Verbindung zwischen dem Realen und dem Imaginären dar. Sie ist das Produkt von beidem; sie ist auch die Produzentin von beidem.“ (S.65)

Regina Falkensteiner

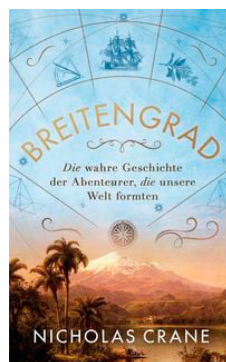
Nicholas Crane

Breitengrad

Die wahre Geschichte der Abenteurer, die unsere Welt formten

Midas Verlag, Zürich, 2022,
gebunden 320 Seiten,
€ 25,50.

ISBN: 978-3-03876-555-4



Welche exakte Gestalt hat die Erde? Um das herauszufinden, reist 1735 eine internationale Gruppe von Wissenschaftlern um die halbe Welt. Ihr Ziel: Eine Meridiangradmessung¹⁾, die Vermessung der Entfernung zwischen zwei benachbarten Breitengraden. Vor 25 Jahren war der Bestseller „Längengrad“ ein weltweites Phänomen, doch enthält er nur eine Hälfte des Problems. Mit „Breitengrad“ wird dieser Meilenstein unserer gemeinsamen Geschichte durch die Erzählung über eine Reise vervollständigt, die den Lauf der menschlichen Zivilisation verändert.

Nicholas Crane, ehemaliger Präsident der Royal Geographical Society, erzählt von zwölf Männern, deren gewagte Expedition zukunftsweisend für die sichere Navigation war. Große wissenschaftshistorische Themen werden in gut lesbarer Form behandelt:

- Die Suche nach der wahren Form der Erde
- Packende Geschichte der zehnjährigen Forschungs-expedition durch Südamerika
- Was bedeutete die Vermessung des Planeten für Navigation und Kartographie?
- Entdeckungen im Dschungel: Kautschuk und Chinin
- Einblick in die Arbeit von Forschern und Entdeckern im 18. Jahrhundert

Der wissenschaftliche Disput über die Figur der Erde – ob an den Polen abgeplattet (Newton) oder zugespitzt (Cassini) – führte Mitte des 18. Jh. zu den beiden großen Gradmessungs-Expeditionen nach Lappland und Peru, finanziert von der französischen Akademie der Wissenschaften in Paris. Pierre Bouguer (1698–1758), Charles Marie de la Condamine (1701–1774) und Louis Godin (1704–1760)²⁾ beginnen 1735 mit den großräumigen

1) Als Gradmessung wird die astronomisch-geodätische Methode bezeichnet, die vom 16. bis ins 20. Jahrhundert zur Vermessung der Erdfigur (des Erdellipsoids) verwendet wurde. Der Name kommt von der genauen Bestimmung jener Distanz (110,6–111,7 km), die zwischen zwei um 1° verschiedenen Breitengraden liegt.

2) Louis Godin (1704-1760), französischer Astronom, Teilnehmer der Peru-Expedition zur Messung eines Meridianbogens in Äquatornähe 1735, Mitglied der Académie in Paris, der Royal Society in London und der Königlich Preussischen Akademie.

Dreiecksmessungen in den Anden und der Basismessung bei Quito im damaligen Peru (heute Ecuador). Dabei soll eine genaue Gradmessung eines langen Meridianbogens vorgenommen werden, um aus den Unterschieden im Krümmungsradius der Erde ihre Größe und Form zu bestimmen. Die zweite Expedition führte unter der Leitung von Pierre Louis Maupertuis³⁾ zeitgleich nach Lappland.⁴⁾ Die Ergebnisse der Messungen (1735 – 1740) ergeben eine Erdabplattung von $f = 0,0046$ (heutiger Wert: 0,00335), womit die Verkürzung des Erdradius zu den Polen ($6378 \Rightarrow 6357$ km) bzw. der wachsende Krümmungsradius ($6335 \Rightarrow 6400$ km) erstmals nachgewiesen wird.

Schon die Seefahrt von Frankreich nach Amerika ist zermürend. Was folgt, stellt die harten Monate an Bord weit in den Schatten: Auf der Suche nach der magischen Zahl erklimmen die Forscher Vulkane, durchqueren Dschungel und sind tödlichen Gefahren ausgesetzt. Im Zeitalter des GPS fällt es schwer, den Stellenwert der strapaziösen Expedition durch Südamerika richtig einzuordnen. Ohne Kenntnis der Erdgestalt sind Landkarten ungenau, die exakte Lage von Städten und Flüssen nicht bestimmbar. Die Erkenntnisse der Forscher entfachen das öffentliche Interesse an der Wissenschaft.

Die damaligen Vermessungen bedeuten für die Akteure eine große Herausforderung über 9 Jahre. Die Basisendpunkte sind Pyramiden, die jedoch wegen Streitigkeiten über die Inschrift abgebaut werden. Erinnerungstafeln künden noch von den großartigen Leistungen der französischen Wissenschaftler und ihrer spanischen Begleiter. Eine wiedergefundene Tafel findet man als Bodenplatte in einer Mühle und stellt sie im Garten der historischen Sternwarte in Quito auf.

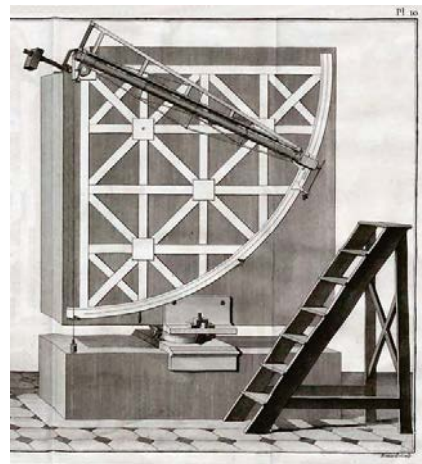
In der heutigen Millionenstadt Quito, der Hauptstadt von Ecuador, befindet sich auch das alte, 1873-1892 nach dem Modell der Bonner Sternwarte erbaute Observatorium. Im Museum ist der originale Reisebericht von La Condamine über die Gradmessung ausgestellt. Am Äquatordenkmal „Mitad del Mundo“, etwa 30 km von Quito, gibt es eine Ehrenallee mit Büsten der Wissenschaftler der historischen Expedition zur Bestimmung der Erdfigur.

3) Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), französischer Mathematiker, Geodät, Astronom, Naturforscher und Philosoph, 1736 führt er im Auftrag König Ludwig XV. eine Expedition nach Lappland, um dort den Abstand zweier Breitengrade zu vermessen.

4) 1738 erhält Euler von Maupertuis den ersten Brief einer langen Korrespondenz mit einem Exemplar von „La Figure de la Terre“, in dem der französische Astronom und Geodät von seiner Gradmessung in Lappland berichtet. Euler schreibt 1738 „Von der Gestalt der Erden“, in der er aufgrund der Meridianbogenmessung in Peru die Verdickung der Erdgestalt am Äquator vertritt.

„Sie haben zweifellos, mein Herr, von der Edition erfahren, die man in Madrid in 4 Bänden in Quarto herausgegeben hat⁵⁾, zusammengestellt von Don Antonio d'Ulloa⁶⁾ *Relacion historica del viage hecho de orden de S.May. a la America Meridional* und von einem anderen von Don Georgio Juan⁷⁾ *Observaciones Astronomicas y physicas hechas de orden de S.Mag.en los Reynos del Peru*⁸⁾“, schreibt Jacopo Marinoni 1749 an Leonhard Euler nach Berlin.

In der jüngeren Belletristik sind Entbehrungen und Abenteuer jener großen Geodäten bereits mehrfach in den Blickpunkt gerückt worden. Nicholas Crane verwebt die historischen Biografien der Expeditionsteilnehmer zu einer Erzählung, die sich wie ein Roman liest, aber dennoch informativ ist. Biographien der Protagonisten, Hinweise auf weiterführende Literatur und Bildtafeln am Schluss regen zur Vertiefung an. Leider enthält das Buch jedoch einige grundlegende Fehler, die einem ausgewiesenen Geographen eigentlich nicht passieren dürfen, wie die Nennung des Ziels der Expedition: „Die Vermessung eines vollen Breitengrads“. Auch die Übersetzung aus dem Englischen enthält zahlreiche Ungenauigkeiten, z.B. Gouverneur-General statt Generalgouverneur oder Mount Pelée statt Mont Pelée. Dennoch eine spannende Abenteuerlektüre für Laien und an der Vermessungsgeschichte Interessierte.



Mauerquadrant, 1773

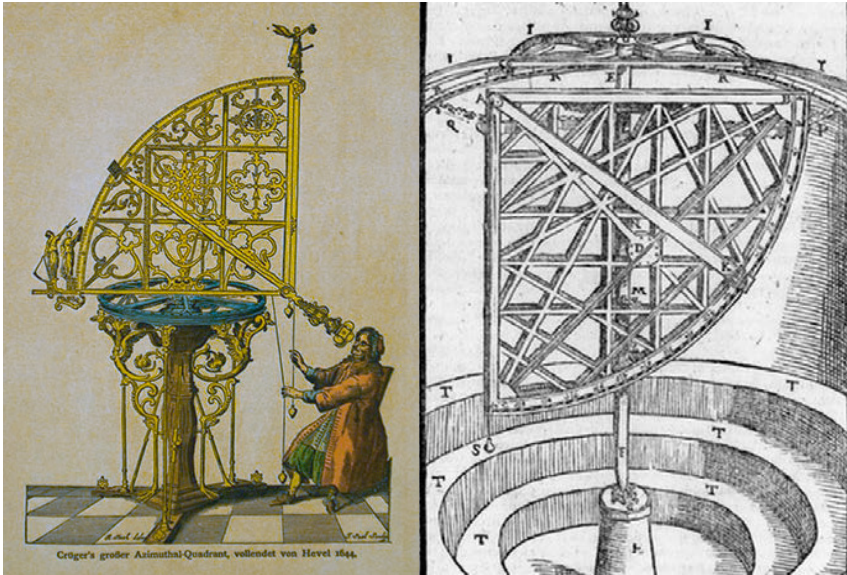
- 5) Bericht über die Gradmessungen in Südamerika 1748
- 6) Antonio de Ulloa y Torre-Guiral (1716-1795), spanischer Mathematiker, Gelehrter und Admiral, Gouverneur von Spanish Louisiana 1766-1768, Mitglied der Royal Society in London
- 7) Jorge Juan y Santacilia (1713-1773), spanischer Mathematiker, Naturwissenschaftler und Marineoffizier, Gradmessung in Peru, barometrische Höhenmessung in den Anden, Gründer des Königlichen Observatoriums Madrid, Mitglied der Royal Society in London
- 8) Astronomische und physikalische Messungen in Peru zur Bestimmung von Form und Größe der Erde 1748

Das wichtigste Winkelmessgerät der Gradmessungs-Expedition von 1735 ist der Quadrant nach Louis Godin. ... Der feste Quadrant von M. Godin, und insbesondere „Der rechte Winkel des Instruments und die Parallelität der Ziellinie des Fernrohres mit dem Lichtstrahl“ und, „Prüfung und Rektifizierung der Diopter-Fernrohre“ ...

„Nur ein Faden, den M. Godin hängend beschreibt, scheint mir nicht genügend, um die erste Richtung des Quadranten oder der Alhidade wieder aufzufinden,

nachdem man sie durchgeschlagen hat. Dort sind zwei Punkte in der Mitte und am Rand in einem anderen Horizont als dem des Anzielens, weil der nicht geringe Unterschied der Parallaxe eingreifen kann, von wo ich größere Sicherheit finde, vielmehr die Notwendigkeit sich einer Vertikalebene zu bedienen. Darüber jedoch erwarte ich das entscheidende Urteil Ew. Hochwohlgeboren.“ (Marinoni an Poleni, 30. November 1735)

Michael Hiermaseder



Drehbarer Azimuthal Quadrant, 1644; Tycho Brahe, *Astronomiae Instauratae Mechanica*.

Neuerscheinungen

Twaroch, Christoph

Kataster- und Vermessungsrecht

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Verlag Österreich, Wien 2022, broschiert, 427 Seiten, € 58,00. ISBN 978-3-7083-4103-3



Das Vermessungsgesetz ist die Rechtsgrundlage für den Grenzkataster und die übrigen Aufgaben der Landesvermessung. Gerade die spezifischen Bestimmungen über den Kataster greifen über das Verwaltungsrecht hinaus stark in zivilrechtliche Belange ein. Die 4. Auflage des Kommentars berücksichtigt die Novellen 2022 des Vermessungsgesetzes. Neben dem Vermessungsgesetz werden die Durchführungsverordnungen und die wichtigsten Nebengesetze, wie das

Liegenschaftsteilungsgesetz, das Bodenschätzungsgesetz, das Staatsgrenzgesetz sowie Auszüge aus dem Forstgesetz und dem ABGB berücksichtigt. Die Gesetze und Verordnungen sind mit ausführlichen Erläuterungen und Anmerkungen versehen, Literatur und neueste Rechtsprechung sind eingearbeitet.

Für wen?

Gerade an die rechtsberatenden Berufe werden verstärkt Probleme bei Grundstücksgrenzen herangetragen und Kataster, Geoinformation und Vermessungsrecht sind für Jurist*innen eine oft unbekannte Materie. Der Kommentar macht Jurist*innen mit der technischen Disziplin des Katasters und des Vermessens vertraut und vermittelt Vermessungsfachleuten die gesetzlichen Grundlagen und rechtlichen Folgen ihrer Tätigkeit.

Grundeigentümer*innen werden die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Eigentumssi- cherung ihrer Liegenschaften nähergebracht.

Veranstungskalender

Internationale Geodätische Woche Oberurgl

12.02. – 18.02.2023 Oberurgl, Österreich
<https://www.uibk.ac.at/congress/obg2023>

GEO Week - International LiDAR Mapping Forum (ILMF)

13.02. – 15.02.2023 Denver, CO, USA
<https://www.geo-week.com/ilmf/>

Internationaler Ingenieurvermessungskurs

11.03. – 15.03.2023 Zürich, Schweiz
<https://ingenieurvermessungskurs.com/>

Munich Satellite Navigation Summit

13.03. – 15.03.2023 München, Deutschland
<https://www.munich-satellite-navigation-summit.org/>

DGPF Jahrestagung

22.03. – 22.03.2023 München, Deutschland
<https://www.dgpf.de/>

International Symposium on Mobile Mapping Technology (ICMMT)

22.03. – 23.03.2023 Prag, Tschechien
<https://waset.org/mobile-mapping-technology-conference-in-march-2023-in-prague>

European Geosciences Union (EGU)

23.04. – 28.04.2023 Wien, Österreich
<https://earth.esa.int/eogateway/events/egu-general-assembly-2023>

International Conference on GI Systems (GISTAM)

26.04. – 28.04.2023 Prag, Tschechien
<https://gistam.scitevents.org/Home.aspx>

Geospatial World Forum

02.05. – 05.05.2023 Rotterdam, Niederlande
<https://geospatialworldforum.org/>

Internationales 3D-Forum Lindau

09.05. – 10.05.2023 Lindau, Deutschland
<http://www.3d-forum.li/>

Österreichischer Geodätentag

09.05. – 12.05.2023 Steyr, Österreich
<http://www.geodaetentag.at>

Baška GNSS Conference

14.05. – 19.05.2023 Baška, Kroatien
<https://rin.org.uk/mpage/BaskaGNSSHome>

EUREF Symposium

22.05. – 26.05.2023 Göteborg, Schweden
http://www.euref.eu/euref_symposia.html

FIG Working Weeks

28.05. – 01.06.2023 Orlando, USA
<https://www.fig.net/fig2023/>

European Navigation Conference (ENC)

31.05. – 02.06.2023 Noordwijk, Niederlande
<https://www.enc2023.eu/>

International Conference on Cartography & GIS

22.06. – 23.06.2023 London, Großbritannien
<https://waset.org/cartography-and-gis-conference-in-june-2023-in-london>

GEOSummit

23.06. – 24.06.2023 Bern, Schweiz
<https://www.eventalways.com/geosummit>

FOSS4G-Europe

26.06. – 02.07.2023 Prizren, Kosovo
<https://2023.foss4g.org/>

GI_Salzburg (AGIT)

04.07. – 06.07.2023 Salzburg, Österreich
<https://gi-salzburg.org/de/>

#wirsehenweiter

Von der Vision zur Anwendung



www.geodaentag.at

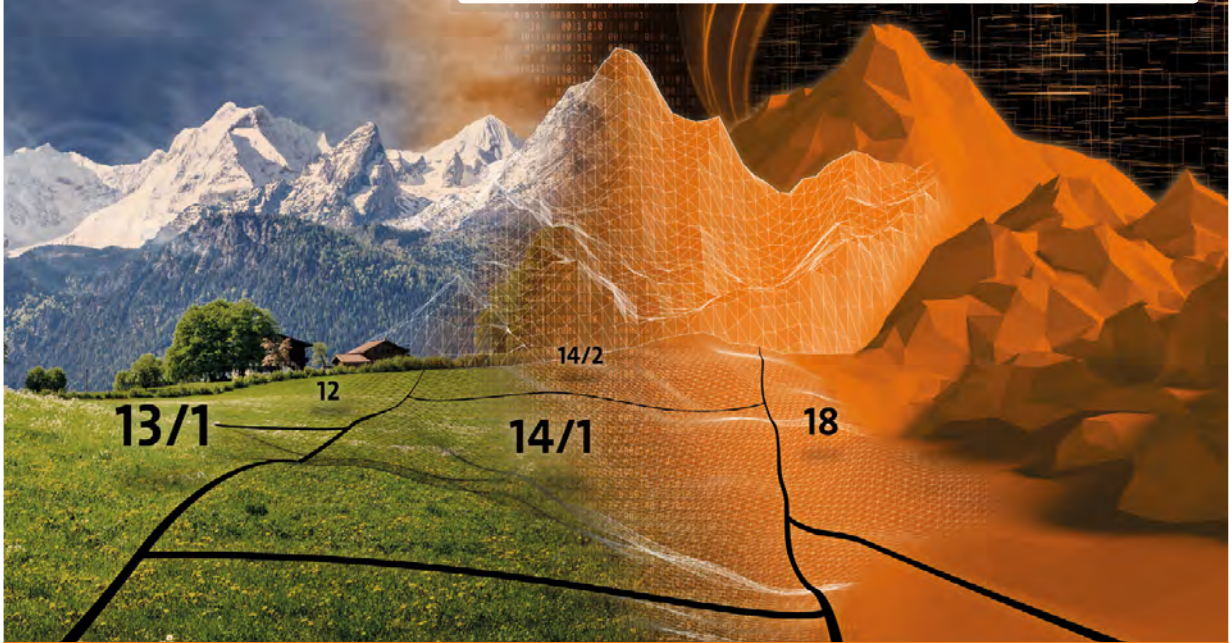
Willkommen zu erweiterten Perspektiven am

14. GEODÄTENTAG

Steyr, 10. - 11. Mai 2023

„Ich bin sehr zufrieden mit
rmDATA GeoMapper und begeistert
von den vielen Features, die uns das
Programm bietet!“

Reinhard Grick, Vermessungsbüro Grick, Bad Mitterndorf



rmDATA GeoMapper, die modernste CAD-Lösung für Vermesser – sowohl für Kataster- und Ingenieurvermessung als auch für GIS-Datenerfassung optimal geeignet – Fachschalen & Module erweitern Ihre Anwendungsbereiche.



rmDATA. **Intelligente Software. Individuelle Services.**
Technologiezentrum, Industriestraße 6, 7423 Pinkafeld
Tel: +43 3357 43 333 . Fax: -76
office@rmdatagroup.com . www.rmdatagroup.com



Mehr erfahren: