



RUNDER TISCH GIS E.V.

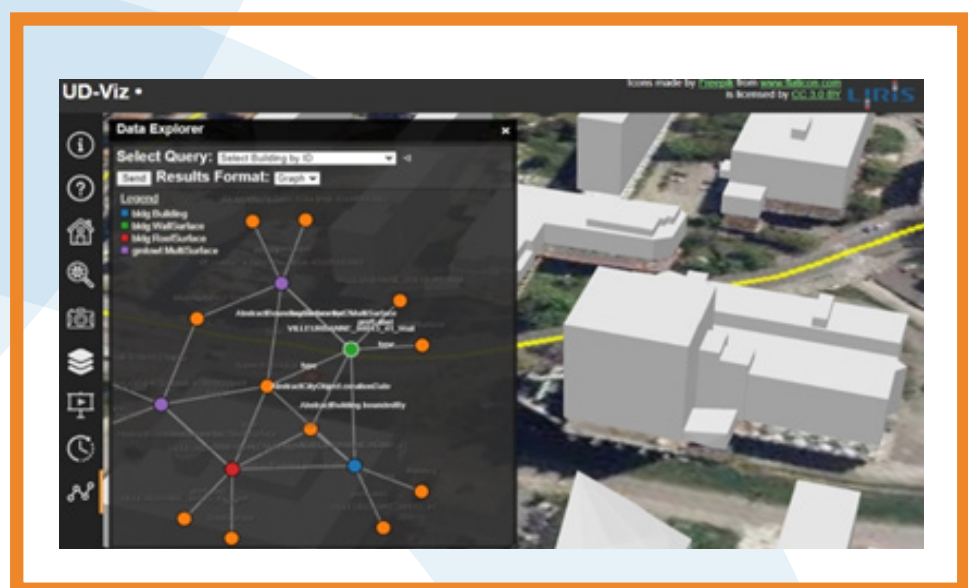


Technische Universität München

Kolbe / Bill / Donaubauer (Hrsg.)

Geoinformations- systeme 2024

Beiträge zur 11. Münchner GI-Runde



München, März 2024

Titelgrafik:

siehe Beitrag *Model driven transformation of CityGML towards CityOWL: from a 3D urban data model to a computational ontology* von Diego VINASCO-ALVAREZ, John SAMUEL, Sylvie SERVIGNE and Gilles GESQUIÈRE (Abb. 1): A visualization of CityGML knowledge graph data used to contextualize a 3D scene.

Alle in diesem Werk enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse, usw. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und mit größtmöglicher Sorgfalt geprüft. Dennoch sind inhaltliche Fehler nicht völlig auszuschließen. Daher erfolgen die Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie der Autoren. Sie übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten.

© 2024 Runder Tisch GIS e.V.

Erscheinungsweise

Digital als PDF unter <https://www.rundertischgis.de/veranstaltungen/muenchner-gi-runde-2/>

Urheberrecht

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Runden Tisches GIS e.V. unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Keynote	
<i>Bill, Ralf:</i> GI-Forschung und -Entwicklung im Wandel der Zeiten.....	6
Förderpreis	
<i>Gaus, Elena:</i> Darstellung und Bewertung des Risikos von Kreuzungen für Radfahrer - Ein geodatenbasierter Ansatz	8
<i>Wang, Rushan:</i> Counterfactual Explanations for Deep Learning-Based Traffic Forecast	11
<i>Berger, Markus:</i> Multimodale, Immersive Analyse von Geodaten durch Verkörperlichung	14
<i>Burkard, Simon:</i> Lokalisierung für Outdoor Augmented Reality mit 3D-Landschaftsmodellen.....	17
<i>Laupheimer, Dominik:</i> On the Information Transfer Between Imagery, Point Clouds, and Meshes for Multi-Modal Semantics Utilizing Geospatial Data.....	19
<i>Zourlidou, Stefania:</i> Traffic Regulation Recognition from GPS Data.....	25
Fortschritte bei der automatisierten Erfassung der Umwelt	
<i>Reiterer, Alexander:</i> Mobile Mapping durch Regelfahrzeuge im fließenden Verkehr - Chancen und Limits	30
<i>Mandlbürger, Gottfried:</i> UAV-Laserscanning mit Anwendungen an Land und unter Wasser	32
<i>Wiemann, Thomas:</i> Hardwarebeschleunigte Verarbeitung von 3D-Daten auf mobilen Plattformen	35
CityGML 3.0 - Neuer Standard für urbane Zwillinge	
<i>Nagel, Claus:</i> Die neuen Möglichkeiten von CityGML 3.0	37
<i>Vinasco-Alvarez, Diego:</i> Model driven transformation of CityGML towards CityOWL: from a 3D urban data model to a computational ontology	38
<i>Nguyen, Son & Kolbe, Thomas H.:</i> Erkennung und Interpretation von Änderungen in CityGML-basierten 3D-Stadtmodellen	41
Dynamik der bebauten Umwelt	
<i>Gitahi, Joseph & Kolbe, Thomas H.:</i> Web-basierte 4D-Visualisierung dynamischer Daten.....	44
<i>Lazoglu, Alex:</i> Der Digitale Zwilling der Filstalbrücken.....	47
<i>Gras, Pierre:</i> Urban Data Platform Hamburg: Wissenswertes zu Aufbau und Betrieb der Sensordateninfrastruktur.....	50
KI in der Geoinformatik - mehr als nur Objekterkennung	
<i>Schüle, Maximilian:</i> Von natürlichen Sprachen zu SQL	53
<i>Burghardt, Dirk:</i> Künstliche Intelligenz und Generative Methoden in der Kartographie	54
<i>Klenk, Simon & Köstler, Lukas:</i> Natürliche Sprache trifft auf 3D: Eine neue Schnittstelle für die geoinformatische Erkundung	57

Geodateninfrastrukturen*Birlbauer, Michael:*

Geodaten im Kontext von Datenräumen..... 59

Bobinger, Stefan:

TwinBy – Digitale Zwillinge für Kommunen..... 61

Schleder, Daniela:

Geodateninfrastruktur Bayern - Fundament für digitale Zwillinge 63

3D*Coors, Volker & Schultze, Max:*

Einfache dienstbasierte Nutzung von 3D-Daten..... 65

Göbel, Stefan & Mohl, Markus:

Deine Stadt – spielerische Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger mit 3D Geodaten 67

Mobilität*Lüttmerding, Attila:*

Die Mobilitätsdatenstrategie der Stadt München..... 700

Gündra, Hartmut & Müller, Markus:

Geodaten zur Unterstützung der Mobilitätswende am Beispiel des Verkehrsverbunds Rhein-Neckar 72

Vorwort

Der vorliegende Tagungsband ist eine Sammlung der erweiterten Abstracts zur *Münchener Geoinformatik-Runde 2024*, die vom *Runden Tisch GIS e.V.* in Kooperation mit der *TU München, Lehrstuhl für Geoinformatik* am 18. und 19. März 2024 ausgerichtet wurde.

Das Vortragsprogramm der *Münchener GI-Runde 2024* war gegliedert in fünf Wissenschaftsforen mit eingeladenen Vorträgen aus der Forschung, drei Sitzungen mit Beiträgen aus der Praxis sowie dem *Innovationsforum* des *Runden Tisch GIS e.V.*, für das sich Unternehmen mit kreativen, neuartigen Anwendungen und Lösungen rund um die Verwendung von Geoinformation bewerben konnten.

Die Beiträge in diesem Tagungsband entstammen den Wissenschafts- und Praxisforen, für die hochkarätige Vortragende aus der Geoinformatik und benachbarten Disziplinen wie Bauingenieurwesen und Informatik gewonnen werden konnten. Die erweiterten Abstracts geben einen Überblick über aktuelle Arbeiten und Projekte aus den Bereichen *Fortschritte bei der automatisierten Erfassung der Umwelt*, *CityGML 3.0 – Neuer Standard für urbane digitale Zwillinge*, *Dynamik der bebauten Umwelt im Blick*, *KI in der Geoinformatik – mehr als nur Objekterkennung*, *Geodateninfrastrukturen*, *3D-Geodaten und –Methoden* sowie *Mobilität*.

Traditionell war eines der Wissenschaftsforen den Finalisten des *Münchener Förderpreises Geoinformatik* gewidmet, sodass wir Ihnen auch Kurzfassungen der ausgewählten Abschlussarbeiten und Dissertationen in diesem Tagungsband präsentieren können.

Wir wünschen Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre und hoffen, dass Sie zahlreiche Anknüpfungspunkte und Ideen für Ihre eigenen Arbeiten in den Beiträgen zur *Münchener GI-Runde* finden.

Unser Dank gilt *Frau Dr. Gabriele Aumann* für die Koordination und Erstellung dieses Tagungsbands, allen Autorinnen und Autoren, der Jury des *Münchener Förderpreises Geoinformatik*, den Leitern der *Kompetenzpools* am *Runden Tisch GIS e.V.*, die für die Programmgestaltung der Praxisforen verantwortlich waren und nicht zuletzt den Sponsoren sowie allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der *Münchener GI-Runde 2024*.

München, im März 2024

Thomas H. Kolbe, Ralf Bill und Andreas Donaubaue

GI-Forschung und -Entwicklung im Wandel der Zeiten

Prof. Dr.-Ing. Ralf BILL

Seniorprofessor für Geodäsie und Geoinformatik · Universität Rostock · Justus-von-Liebig-Weg 6 · 18059 Rostock
E-Mail: ralf.bill@uni-rostock.de

1 Einbettung

Innovationen in der Forschung und Entwicklung unterliegen in nahezu jedem Fachgebiet einem ständigen Wandel. Für die Diffusion von Innovation, definiert als Ideen, Verhaltensweisen oder Objekte, die von denjenigen, die über ihre Annahme/Ablehnung entscheiden, als neu wahrgenommen werden, definiert ROGERS, 1962 fünf etablierte Adopter-Kategorien. Im Beitrag werden Forschungs- und Entwicklungsthemen der Geoinformatik skizziert, an denen die Professur für Geodäsie und Geoinformatik als Early Adopter gearbeitet hat, also frühzeitig solche neuen Produkte, Technologien oder Dienstleistungen aufgegriffen und weiterentwickelt hat.

Die Hype Cycles von Gartner (GARTNER, O.J.) bieten eine graphische Darstellung des Reifegrads und der Akzeptanz von Technologien und Anwendungen sowie ihrer potenziellen Relevanz für die Lösung echter Geschäftsprobleme und die Nutzung neuer Chancen. Diese Methodik gibt einen Überblick darüber, wie sich eine Technologie oder Anwendung im Laufe der Zeit entwickeln wird, und bietet damit eine fundierte Erkenntnisquelle, um deren Einsatz im Kontext spezifischer Geschäftsziele zu steuern. Jeder Hype Cycle gliedert sich in die fünf wichtigsten Phasen des Lebenszyklus einer Technologie.

- **Technologischer Auslöser:** Ein potenzieller technologischer Durchbruch bringt die Dinge ins Rollen. Frühe Proof-of-Concept-Stories und Medieninteresse lösen eine große Öffentlichkeitswirkung aus. Oft gibt es keine brauchbaren Produkte und die kommerzielle Lebensfähigkeit ist nicht bewiesen.
- **Gipfel der überzogenen Erwartungen:** Die frühe Öffentlichkeitsarbeit bringt eine Reihe von Erfolgsgeschichten hervor – oft begleitet von einer Vielzahl von Misserfolgen. Einige Unternehmen ergreifen Maßnahmen; viele tun es nicht.
- **Tal der Enttäuschungen:** Das Interesse erlahmt, wenn Experimente und Implementierungen nicht erfolgreich sind. Die Hersteller der Technologie werden bereinigt oder scheitern. Investitionen werden nur dann fortgesetzt, wenn die überlebenden Anbieter ihre Produkte zur Zufriedenheit der Early Adopters verbessern.
- **Pfad der Erleuchtung:** Es kristallisieren sich immer mehr Beispiele für den Nutzen der Technologie für das Unternehmen heraus und werden immer besser verstanden. Produkte der zweiten und dritten Generation erscheinen von Technologieanbietern. Mehr Unternehmen finanzieren Pilotprojekte; konservative Unternehmen bleiben zurückhaltend.
- **Plateau der Produktivität:** Die Mainstream-Einführung beginnt zu laufen. Die Kriterien für die Bewertung der Rentabilität von Anbietern sind klarer definiert. Die breite Marktanwendbarkeit und Relevanz der Technologie zahlt sich aus.

2 Vom Werkzeug GIS zur Wissenschaftsdisziplin Geoinformatik

Rechnergestützte Geo-Informationssysteme (GIS) können auf eine nunmehr über 60-jährige Geschichte zurückblicken (WATERS, 2017, BILL, 2023). Seit den 1960er Jahren verläuft die GIS-Entwicklung parallel zu den Entwicklungen in den Informations- und Kommunikationstechnologien, deren Fortschritte aufgegriffen und auf die spezielle Thematik des Raumbezugs adaptiert werden. GIS wird daher manchmal vorgeworfen, sie seien technologiegetrieben, also eine Technologie auf der Suche nach Anwendungen.

Bis Anfang der 1990er Jahre wurde GIS eher als Werkzeug gesehen. Erst GOODCHILD, 1992 formuliert den Anspruch an eine Geoinformationwissenschaft: "It seems to me that there is a pressing need to recognize and develop the role of science in GIS." Diese definiert er dann als "research on the generic issues that surround the use of GIS technology, impede its successful implementation, or emerge from an understanding of its potential capabilities."

3 Ausgewählte Themen der GI-Forschung und Entwicklung

Den Forschungsthemen des Verfassers liegt zumeist ein Anwendungsbezug zu einem der beiden Themenbereiche zugrunde:

- An einer Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät liegt es nahe sich aus Sicht der Geoinformatik mit dem Thema Landwirtschaft (**Precision Farming**) zu beschäftigen.

- Im Kontext der **Stadtplanung** sollen digitale begehbbare Modelle der Stadt im Rechner entstehen und dafür Werkzeuge zur Planung und Visualisierung entwickelt werden.

Detaillierter wird im Beitrag auf die folgenden fünf Forschungsthemen des Verfassers eingegangen und Entwicklungen aufgezeigt:

- Digitale Geländemodelle: vom manuell erfassten Terrain zu dynamisch generierten Geländemodellen.
- Luftbilder: „Bilder“ im übertragenen Sinne spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der Geoinformatik.
- Mixed Reality: von aufwändig erzeugten 3D-Stadtmodellen im Desktop VR zu mittels nunmehr verfügbarer Hard- und Software umsetzbaren VR- und AR-Anwendungen.
- Geosensorik: von ersten Versuchen der funkbasierten Positionierung zu komplexen Multisensorsystemen, eingebettet in Dateninfrastrukturen und Workflows.
- Künstliche Intelligenz: von wissensbasierten Systemen zu Deep Learning

Einen interessanten, weit darüber hinaus gehenden Blick auf die GI-Forschung im Umfeld der deutschen Geodäsie und Geoinformatik geben BILL ET AL., 2022.

4 Ausblick

Die heutige Geoinformatik fußt auf Arbeiten sehr vieler Fachdisziplinen, ist also wirklich eine Querschnittsdisziplin, die inzwischen Anwendungen in nahezu allen Lebensbereichen findet.

Geoinformation wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. SCOBLE & ISRAEL, 2014 nennen Location, den Raumbezug, als eine der 5 treibenden Kräfte der Zukunft. Die anderen vier sind heute in aller Munde (mobile Geräte wie das Smartphone, die Social Media-Dienste, Sensoren, die überall auf der Welt Umweltphänomene beobachten (Internet-of-Things) oder Big Data und Data Analytics).

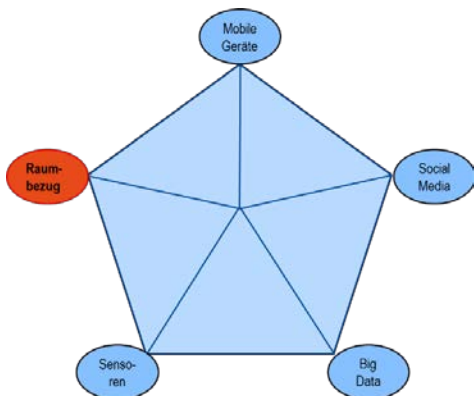


Abb. 1:
Treibende Kräfte in einer digitalen Welt der Zukunft (nach SCOBLE & ISRAEL, 2014)

Literatur

- BILL, R. (2023), Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 7., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Wichmann Verlag. 901 Seiten.
- BILL, R., BLANKENBACH, J., BREUNIG, M., HAUNERT, J.-H., HEIPKE, C., HERLE, S., MAAS, H.-G., MAYER, H., MENG, L., ROTTENSTEINER, F., SCHIEWE, J., SESTER, M., SÖRGEL, U., WERNER, M. (2022), Geospatial Information Research: State of the Art, Case Studies and Future Perspectives. PFG - Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. S. 349 - 389. <https://doi.org/10.1007/s41064-022-00217-9>
- GARTNER (O.J.), <https://www.gartner.de/de/methoden/hype-cycle>
- GOODCHILD, M.F. (1992), Geographical information science, IJGIS, 6:1, 31-45, <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
- ROGERS, E. M. (1962), Diffusion of Innovations. New York: Free Press. (5. Auflage 2003).
- SCOBLE, R., ISRAEL, S. (2014), The age of context. Mobile, Sensors, Data and the Future of Privacy. Patrick Brewster Press, 225 pages.
- WATERS, N. (2017), GIS: History. In: The International Encyclopedia of Geography, Seiten 1 – 13. Wiley & Sons Ltd. 377.

Darstellung und Bewertung des Risikos von Kreuzungen für Radfahrer - Ein geodatenbasierter Ansatz

Elena GAUS

Stadtmessungsamt Stuttgart · Kronenstraße 20 · 70173 Stuttgart
E-Mail: elena.gaus@stuttgart.de

1 Einleitung und Hintergrund

Die Sicherheit von Radfahrern an Kreuzungen ist ein zunehmend wichtiges Anliegen im Straßenverkehr, da Unfälle an Kreuzungen zu den gefährlichsten, aber auch verbreitetsten Szenarien im Straßenverkehr zählen (DOZZA & WERNEKE 2014). Radfahrer sind im Verkehr besonders gefährdet – sie gehören zu den „vulnerable road users“ (*dt.: ungeschützte Verkehrsteilnehmer*) und haben im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern ein erhöhtes Mortalitätsrisiko (BOUAOUN ET AL. 2015). Diese Masterarbeit zielt darauf ab, die Risiken von Kreuzungen für Radfahrer mithilfe eines geodatenbasierten Ansatzes darzustellen und zu bewerten. Dafür werden die Kreuzungen nicht mehr nur als nulldimensionale Knoten, sondern deutlich präziser im ein- und zweidimensionalen Raum dargestellt, um die möglichen Bewegungsmuster und potenziellen Gefahren für Radfahrer fahrspurgenau erfassen, bewerten und quantifizieren zu können. Die Forschungsfragen der Arbeit konzentrieren sich auf drei Hauptaspekte: (1) wie Kreuzungen in einem GIS dargestellt werden können, (2) die Messung und Bewertung des Risikos für Radfahrer an Kreuzungen, sowie (3) die Evaluierung des entwickelten Modells. Das übergeordnete Ziel der Arbeit besteht darin, die Sicherheit von Radfahrern im Straßenverkehr zu erhöhen, indem potentielle Gefahrenpunkte für Radfahrer identifiziert werden. Das eröffnet Entscheidungstragenden die Möglichkeit, geeignete Maßnahmen zur Risikominderung zu entwickeln. Die Relevanz der Thesis ist besonders hoch angesichts des steigenden Anteils von Unfällen mit Radfahrern und des politischen Bestrebens zur Förderung des Fahrradverkehrs zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen und des Mobilitätswandels, in deren Interesse es ist, die Straßeninfrastruktur sicherer und attraktiver für Radfahrer zu gestalten.

Unfallrisiko basiert auf den drei Säulen Verkehrsteilnehmer, Fahrzeuge und Infrastruktur (SCHEPERS et al. 2014), wobei sich diese Arbeit auf die Säule der Infrastruktur konzentriert. Dabei spielen Risikofaktoren eine entscheidende Rolle. Risikofaktoren sind Variablen, die mit einem erhöhten Risiko verbunden sind, auch wenn sie nicht zwangsläufig kausal mit einem Unfall verbunden sein müssen, sondern auch korrelativ sein können. In einer umfassenden Literaturrecherche konnten folgende Faktoren identifiziert, die das Risiko an Kreuzungen beeinflussen: Umgebende Infrastruktur, Verkehrsregeln, Kreuzungsgeometrie, messbares Verhalten, Straßeneigenschaften, Kreisverkehr und Fahrradinfrastruktur.

2 Methodik

2.1 Von null- zu zweidimensionaler Darstellung einer Kreuzung

Die Voraussetzung, um eine Kreuzung schlussendlich fahrspurgenau auf ihre Risiken hin zu untersuchen, ist die Konvertierung vom nulldimensionalen Kreuzungsknoten zur ein- und zweidimensionalen Darstellung der Kreuzung. Als Datenbasis für diesen Vorgang wurde die Graphenintegrations-Plattform Österreichs (GIP Austria) verwendet, welche ein erweitertes Knoten-Kanten-Modell der Verkehrsinfrastruktur Österreichs offen zur Verfügung stellt. Die Daten werden in dieser Arbeit in einer PostgreSQL-Datenbank gehalten und mithilfe von PL/pgSQL-Skripten verarbeitet; für Darstellungszwecke wird QGIS verwendet.

Der Konvertierungsprozess lässt sich grob in zwei Schritte unterteilen: Zunächst werden die Fahrs Spuren der Straßen, die in die Kreuzung münden, rekonstruiert. Hierfür greifen die SQL-Skripte auf Informationen zu, die in den GIP-Daten enthalten sind, wie die Fahrspuranzahl, -richtung und -breite und mittels der Geometriefunktionen von PostGIS werden ein- und zweidimensionale Pendanten der Fahrs Spuren, Radwege und Fußgängerwege konstruiert (siehe Abb. 1, linker Teil). Dieser erste Schritt ist entscheidend, um im zweiten Schritt die Abbiegebeziehungen zu erstellen (siehe Abb. 1, rechter Teil). Denn deren Geometrie, wie Spurbreite und -richtung aber auch Anfangs- und Endpunkt, basieren mitunter auf den Wegen, die sie verbinden. Mit den Skripten ist eine automatisierte Erstellung der ein- und zweidimensionalen Darstellung einer beliebigen Kreuzung möglich. Das Modell ist in sich konsistent, sowohl in der Geometrie als auch in den Attributen, mithilfe derer die einzelnen Elemente aufeinander und auf ihre Elternelemente in der GIP verweisen.

2.2 Risikomodellierung

Im Rahmen der Risikomodellierung erfolgt eine Bewertung der erstellten Abbiegebeziehungen hinsichtlich ihres Risikos für Radfahrer. Zunächst werden für jede Abbiegebeziehung die für das Risiko relevanten Informationen gesammelt, die

durch die Literaturrecherche identifiziert wurden. Diese Faktoren werden in globale, die die gesamte Kreuzung betreffen, und lokale Faktoren, die nur einzelne Abbiegebeziehungen betreffen, unterteilt. Die Informationen werden hauptsächlich aus den Daten der GIP extrahiert und berechnet, jedoch wurden auch zusätzliche Open-Source-Quellen in die Datenbank integriert. Die Datenerhebung erfolgt mithilfe weiterer SQL-Skripte.

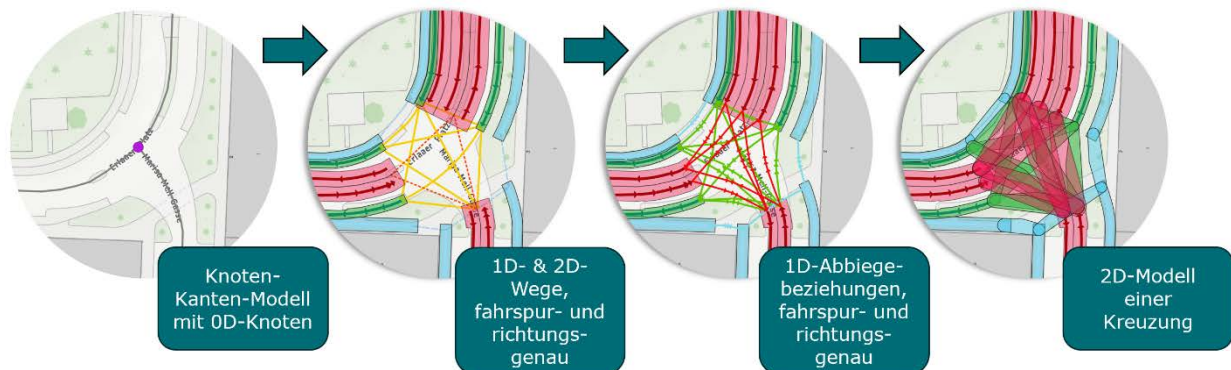


Abb. 1: Konvertierungsprozess vom Knoten-Kanten-Modell über die Konstruktion von ein- und zweidimensionalen Straßendarstellung hin zu einer zweidimensionalen Darstellung einer Kreuzung, in der der Knoten durch Abbiegebeziehungen ersetzt wurde. Fußwege sind blau, Radwege grün und Autofahrbahnen rot dargestellt.

Die gesammelten Informationen über die Abbiegebeziehungen werden zur Vergleichbarkeit normalisiert, wobei 0 ein hohes Risiko und niedrige Sicherheit repräsentiert, während 1 niedriges Risiko und hohe Sicherheit bedeutet. Ein Skript führt diese Normalisierung durch, indem es die Daten auf die Skala von 0 bis 1 projiziert.

Die Indexberechnung ist der finale Schritt der Risikomodellierung. Dabei werden die einzelnen Faktoren der Abbiegebeziehung gewichtet, um deren Risikoindex zu berechnen. Dieser Schritt bestimmt, wie stark ein Indikator die Risikobewertung einer Abbiegebeziehung beeinflusst. Es gibt zwei Optionen, um die Faktoren zu gewichten: Benutzerdefinierte Gewichtungen, die der Nutzer selbst anpassen kann, oder die Verwendung der Standardwerte, die aus den Literaturrecherchen abgeleitet wurden und in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Default-Werte der Berechnung des Risikoindex.

Indikator	Default-Gewicht
Geschwindigkeit	0.3
Kreisverkehr	0.2
Radinfrastruktur	0.2
Anzahl der überquerten Abbiegebeziehungen (Autofahrspuren)	0.15
Steigung	0.1
Anzahl der überquerten Abbiegebeziehungen (Vulnerable Road Users)	0.05
Weitere Indikatoren	0

3 Ergebnis und Diskussion

Im Zuge dieser Thesis wurde eine Methodik entwickelt, eine Kreuzung in ihre Abbiegebeziehungen zu „zerlegen“ und diese auf ihr Risikopotential auf Basis von Infrastrukturfaktoren hin zu bewerten und darzustellen (siehe Abb. 2). Mit dem Risikomodell ist es zudem möglich, Kreuzungen auf ihr Risiko hin zu vergleichen, den Einfluss von Verkehrsmaßnahmen (z.B. Geschwindigkeitsbeschränkung) zu simulieren, globale und lokale Faktoren einzubinden und eine eigene Gewichtung der Indikatoren durchzuführen.

Die Einschränkungen dieser Arbeit liegen unter anderem in ihrer Abhängigkeit von der GIP bezüglich Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität. Außerdem kann die Risikomodellierung wegen fehlenden offenen Daten nicht alle Faktoren in die Indexberechnung einbeziehen. So wären beispielsweise das Verkehrsaufkommen, detaillierte Informationen zur Radinfrastruktur und die Ampelsignalisierung ein bedeutender Input für das Modell.

Dahingegen liegen die Stärken der Arbeit darin, dass sie vollständig auf offenen Produkten basiert und durch den veröffentlichten Code reproduzierbar ist. Zudem kann das Modell an eigene Umstände angepasst werden und hat das Potential, sowohl in sicherem Routing für Radfahrer als auch für die Planung und Simulation von Verkehrsinfrastruktur eingesetzt zu werden.

Die Innovation dieser Arbeit liegt zum einen in der automatisierten Umwandlung von einem nulldimensionalen Knoten zu einer 1D- und 2D-Repräsentation der Kreuzung, die ressourcenschonender und effektiver als derzeit verwendete Methoden ist. Des Weiteren erfolgt die Risikobewertung von Kreuzungen auf einer detaillierteren Ebene als bisherige Arbeiten. Durch die Berücksichtigung globaler und lokaler Risikofaktoren ermöglicht die Arbeit zudem eine präzisere Analyse von Kreuzungen. Dadurch ist diese Methodik dafür geeignet, die Lücke zu schließen, die in den Risikomodellen der Verkehrsinfrastruktur durch das Fehlen der Kreuzung zwischen den Wegsegmenten klafft.

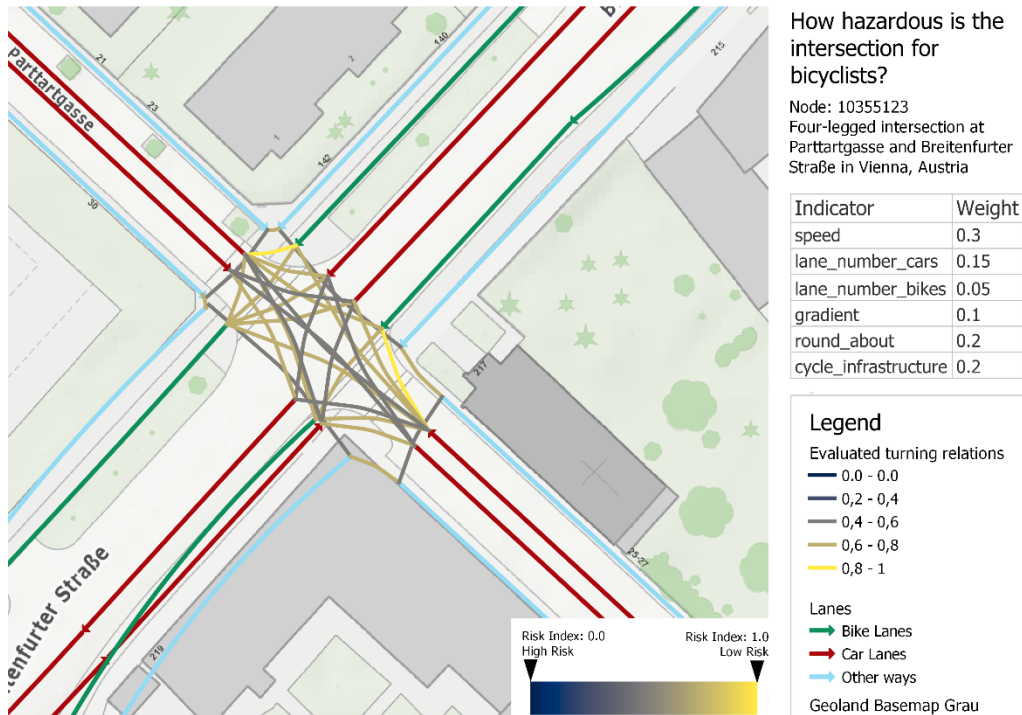


Abb. 2: Ergebniskarte: Eine vierarmige Kreuzung, deren Risikoindizes nach der Default-Gewichtung berechnet wurde.

Literatur

- DOZZA, M. & WERNEKE, J. (2014), Introducing naturalistic cycling data: What factors influence bicyclists' safety in the real world? – Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 24: 83–91.
- MEULENERS, L. B., FRASER, M., JOHNSON, M., STEVENSON, M., ROSE, G. & OXLEY, J. (2020), Characteristics of the road infrastructure and injurious cyclist crashes resulting in a hospitalisation. – Accident; analysis and prevention, 136: 105407.
- PRATI, G., MARÍN PUCHADES, V., ANGELIS, M. DE, FRABONI, F. & PIETRANTONI, L. (2018), Factors contributing to bicycle–motorised vehicle collisions: a systematic literature review. – Transport Reviews, 38: 184–208.
- SCHEPERS, P., HAGENZIEKER, M., METHORST, R., VAN WEE, B. & WEGMAN, F. (2014), A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety. – Accident; analysis and prevention, 62: 331–340.

Counterfactual Explanations for Deep Learning-Based Traffic Forecast

Rushan WANG

Institute of Cartography and Geoinformation · ETH Zurich · 8093 Zurich
E-Mail: ruswang@ethz.ch

1 Introduction

Deep learning models are widely used in traffic forecasting tasks and can achieve high accuracy (LI 2018 & YIN 2022). However, the black-box nature of those models makes the results hard to be explained and trusted by users (FERNANDEZ 2020). This study aims to leverage explainable AI to enhance the explainability and usability of deep learning-based traffic forecasting models. Specifically, the goal is to elucidate the relationships between various input contextual features and their corresponding output predictions. We present a comprehensive framework that generates counterfactual explanations for traffic forecasting and provides usable insights through the proposed scenario-driven counterfactual explanations. The study first establishes a deep learning model to predict traffic speed based on various context variables. The core focus lies in the analysis of counterfactual explanations to illuminate how alterations in these variables could affect predicted outcomes, thereby enhancing the model's transparency. A detailed examination of the impact of contextual features on traffic speed under varying spatial and temporal conditions is provided. The study also delves into the practical implications of these features by integrating user-defined constraints to generate targeted counterfactual explanations. Two distinct methods for scenario constraints, directional and weighting constraints, are proposed to tailor counterfactual explanations to specific use cases. These tailored explanations benefit machine learning practitioners who aim to understand the model's learning mechanisms and domain experts who seek references for real-world applications. Our findings underscore the integral relationship between traffic speed predictions and the spatial-temporal dynamics of road settings, revealing that varied patterns emerge across suburban and urban roads, as well as between weekdays and weekends. The results indicate that counterfactual explanations can be useful in understanding the underlying patterns affecting traffic speed, showing potential for future applications in spatial-temporal predictive tasks.

2 Summary of the presentation content

2.1 Evaluating the impact of contextual data on traffic forecasting

As illustrated in Table 1, the comprehensive model that incorporates all contextual features demonstrates superior performance across all the evaluation metrics. It has the lowest values for RMSE, MAE, and Loss while achieving the highest scores in Accuracy, R^2 , and VAR. At the same time, the model trained without any contextual data exhibited the least effective performance. While it has to be mentioned that these features do contribute to model accuracy significantly, their overall enhancement of predictive capability is relatively limited, resulting in a modest reduction of just 0.4 km/h in error, which suggests their role might be less critical in terms of model training. However, the utility of these features is notably underscored through the application of counterfactual explanations. With CFEs, it is possible to alter the prediction results with minor changes in the input contextual features, which can tell us the importance of input features in terms of sensitivity.

Table 1: Traffic forecasting model performance with different training datasets. Baseline indicates the model trained with only speed data. Full data shows the model trained with speed data and all contextual features. The "Loss" metric presents the loss value for the test data.

Metrics	Baseline	Number of lanes	Number of POI	Speed limit	Temperature	Precipitation	Wind	Humidity	Hour of day	Day of week	Full data
RMSE	10.2676	10.1596	10.2214	9.9265	10.2018	10.2208	10.2025	10.2295	10.2362	10.1841	9.7578
MAE	6.8945	6.6427	6.7095	7.0003	6.6097	6.6260	6.6018	6.7878	6.8190	6.8221	6.4914
Accuracy	84.35%	84.50%	84.42%	84.87%	84.45%	84.42%	84.44%	84.40%	84.39%	84.47%	85.12%
R^2	0.7709	0.7754	0.7727	0.7874	0.7738	0.7729	0.7737	0.7724	0.7722	0.7747	0.7931
VAR	0.7719	0.7754	0.7727	0.7939	0.7745	0.7732	0.7744	0.7727	0.7727	0.7757	0.7940
Loss	105.4242	103.2179	104.4773	98.5349	104.0777	104.4658	104.0910	104.6418	104.7800	103.7168	95.2140

2.2 Comparison of various spatial and temporal configurations

Counterfactual explanations generated for highway road segments failed to yield speed improvements. This suggests that the static features investigated in this study, namely the number of POI, the number of lanes, and speed limits, do not substantially influence traffic patterns on highways within the scope of this road network. When aiming to increase speeds

on suburban road segments, counterfactual explanations suggest an increase in the number of POIs nearby. This is because the model associates road segments with a higher density of nearby POIs with lower levels of traffic congestion. In contrast to the suburban road, when targeting to increase speeds on urban road segments, counterfactual explanations suggest a decrease in the number of POIs nearby.

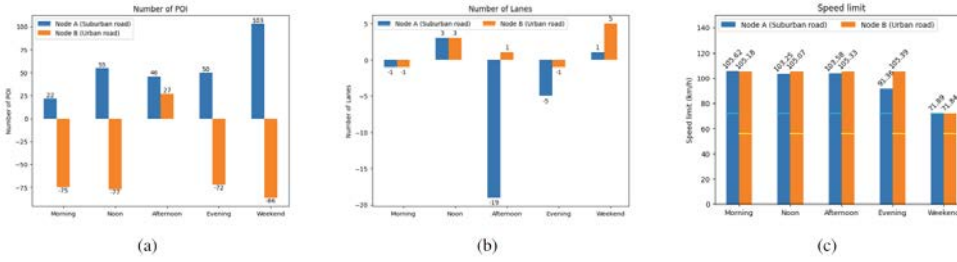


Fig. 1: Comparison of the difference between counterfactual and original features in different temporal settings for Node A and Node B. (a) shows the total difference between the original and counterfactual number of POIs; (b) shows the total difference between the original and counterfactual number of lanes; (c) shows the counterfactual speed limit (the original speed limit on Node A is 72 km/h, the original speed limit on Node B is 56 km/h).

2.3 Utilize domain knowledge on the generation of counterfactual explanations

The experimental results, obtained by incorporating various scenario constraints into the counterfactual explanation generation process, are highly promising for several reasons. Firstly, all generated counterfactual explanations demonstrate reasonable validity and plausibility scores. This indicates that the method retains its efficacy to reach the set target even when additional constraints are applied, thereby affirming the feasibility and effectiveness of the approaches proposed in this study. Secondly, some constraints facilitate more efficient counterfactual generation. On the one hand, the collection of generated Counterfactual Explanations generally exhibits lower validity loss, implying proper performance in aligning the predicted speeds with target speeds. On the other hand, underweighting constraints, see in Figure 1 not only do the colours in the set of CFEs become more vibrant, but the scatter points also converge within a smaller area. This indicates increased efficiency after adding the scenario constraint, as the algorithm is more adept at identifying optimal counterfactuals within a constrained search space. In summary, the integration of user-defined prior knowledge into post-hoc explanations has proven to be valuable. This not only addresses the initial research questions posed but also has profound implications for future work in the field of Explainable AI.

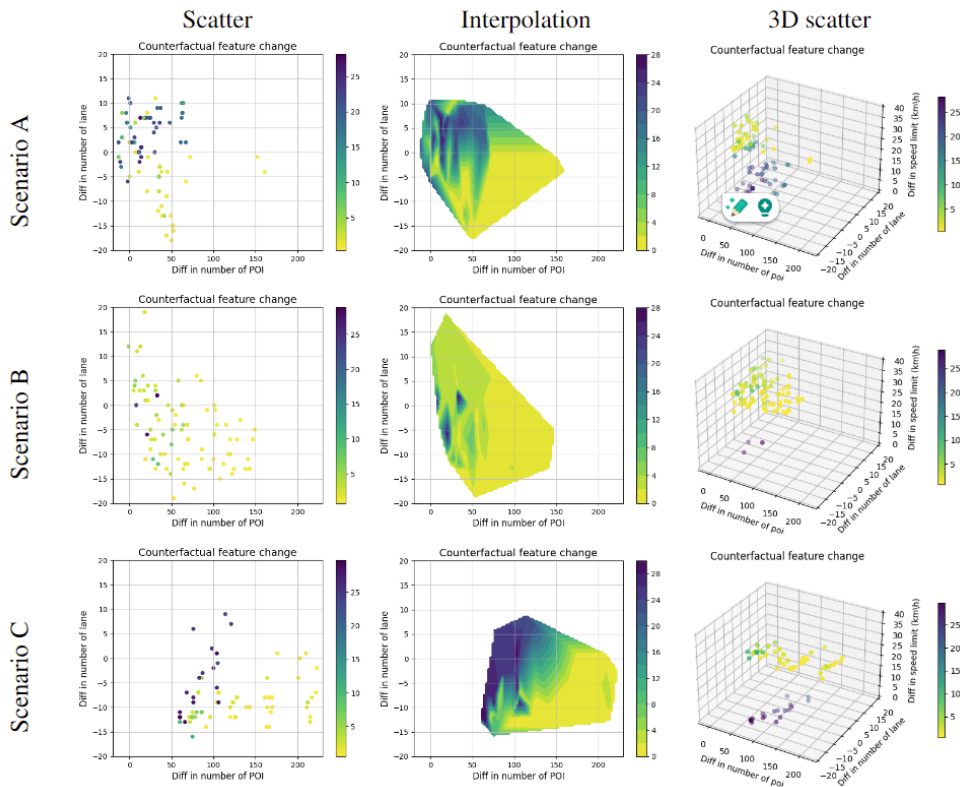


Fig. 2: Results for various directional constraints. Scenario A has no extra constraint; scenario B involves a decrease in the number of POIs and an increase in the number of lanes; scenario C involves an increase in the number of POIs increases. The "Scatter" column displays a scatter plot of the total feature change, where the color bar represents the validity score—the brighter the color, the better the counterfactual performance. The "Interpolation" column provides a linear interpolation based on the scatter plot data. The "3D Scatter" column presents a 3-dimensional scatter plot incorporating total feature changes, including variations in speed limit as z-axis.

References

- YAGUANG LI & CYRUS SHAHABI (2018), "A brief overview of machine learning methods for short-term traffic forecasting and future directions". In: SIGSPATIAL Special 10, pp. 3–9. doi: 10.1145/3231541.3231544.
- XUEYAN YIN ET AL. (2022), "Deep Learning on Traffic Prediction: Methods, Analysis, and Future Directions". In: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 23.6, pp. 4927–4943. doi: 10.1109/tits.2021.3054840.
- CARLOS FERNANDEZ, FOSTER J. PROVOST & XINTIAN HA (2020), "Explaining Data-Driven Decisions made by AI Systems: The Counterfactual Approach". In: ArXiv abs/2001.07417. url: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:210839261>

Multimodale, Immersive Analyse von Geodaten durch Verkörperlichung

Markus BERGER

Professur für Bauinformatik und Digitales Bauen · Universität Rostock · Justus-von-Liebig-Weg 2 · 18059 Rostock
E-Mail: markus.berger@uni-rostock.de

1 Einführung ins Thema

Interaktive digitale Karten sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken – sie erleichtern die Orientierung an unbekanntem Orten bei der Navigation und das Verständnis komplexer geografischer Zusammenhänge bei der Datenvisualisierung. Die traditionelle Darstellung dieser Karten ist jedoch häufig auf zweidimensionale oder einfache dreidimensionale Ansichten beschränkt und berücksichtigt nur den visuellen Aspekt der menschlichen Wahrnehmung. Als Menschen gehen unsere Fähigkeiten, Sachverhalte und räumliche Zusammenhänge zu verstehen, jedoch weit über das rein visuelle „Anschauen“ hinaus. Wir lernen und verstehen durch Zuhören, durch Spüren und Anfassen. Betrachten wir die Nutzung verschiedener Sinne und natürlicher Bewegungen als signifikanten Teil eines kognitiven Prozesses, sprechen wir dabei vom Konzept des Embodiments (Verkörperlichung).

In diesem Vortrag soll ein Überblick dazu gegeben werden, wie immersive Technologien wie z.B. Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) solche verkörperlichten Wahrnehmungs- und Interaktionsmöglichkeiten für räumliche Anwendungen verfügbar machen können. Mit AR und VR können Geodaten näher an den menschlichen Körper geführt werden, indem sie interaktiv und multisensorisch erfahrbar gemacht werden. Dafür werden in diesem Vortrag drei verschiedene Taxonomien gezeigt, welche basierend auf einer breit angelegten Recherche die wichtigsten Designentscheidungen bei der Erstellung solcher multimodaler Systeme klassifizieren. Die Taxonomien werden in ein Modell mit zugehöriger Diagrammsprache integriert, welche für die zielgerichtete Spezifikation auf einer hohen Abstraktionsebene verwendet werden kann.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

Konzeptuell beginnen wir mit dem aus der Visualisierung adaptierten Konzept einer „Multisensorischen Analyse-Pipeline“, welche beschreibt, wie Daten über eine Abbildung auf verschiedene Arten von multisensorischen Displays (wie z. B. Lautsprecher, Duft-Sprüngeräte) an verschiedene Teile des menschlichen Körpers herangeführt werden können, welche dann über passende Interaktionsgeräte wiederum Analyseschritte auf den Daten auslösen können. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht dieses Prozesses speziell für immersive Szenen, welche den Zweck haben Geodaten zu analysieren, basierend auf einem multisensorischen Design-Framework aus (MCCORMACK ET AL. 2018).

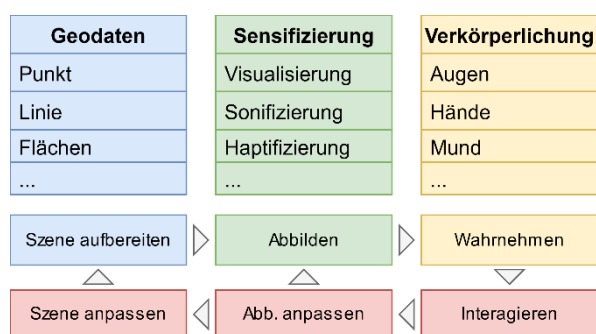


Abb 1:

Eine multisensorische Analyse-Pipeline für immersive Darstellung von Geodaten, adaptiert aus (MCCORMACK ET AL. 2018).

Da die Technologien entweder sehr neu sind oder einfach noch nie für solche Anwendung eingesetzt wurden, fehlen uns jedoch für fast jeden einzelnen Abbildungsschritt Erfahrungen und klare Listen von Entscheidungsmöglichkeiten. Die hier vorgestellte Arbeit schafft dafür zuerst mit drei Taxonomien Abhilfe. Die erste Taxonomie beschreibt jene Aspekte unserer Sinne, die von Display-Hardware genutzt werden können, um Daten verständlich und kognitiv verarbeitbar zu machen (wie z.B. die Nutzung von Farbskalen für den Sehsinn). Dabei bewegen wir uns von reinen Visualisierungen hin zu „Sensifizierungen“, welche alle fünf primären Sinne (und mehr) ansprechen können. Aufbauend aus den aus der Kartographie bekannten visuellen Variablen (MACEACHREN 1995) wird hierbei ein neuer Variablenraum etabliert, welcher in Abbildung 2 gezeigt ist.

Die zweite Taxonomie beschreibt die räumlichen Repräsentationen welche notwendig sind, um Geodaten in solchen multisensorischen, interaktiven Kontexten darzustellen. Es ist mit aktuellen Geodaten-Formaten nicht möglich komplexe, hochdynamische Objekte wie wir sie in immersiven Anwendungen gewöhnt sind, mit ausreichender

räumlicher und zeitlicher Präzision abzuspeichern. Stattdessen werden Daten meistens stark vereinfacht in bestehenden Geodaten-

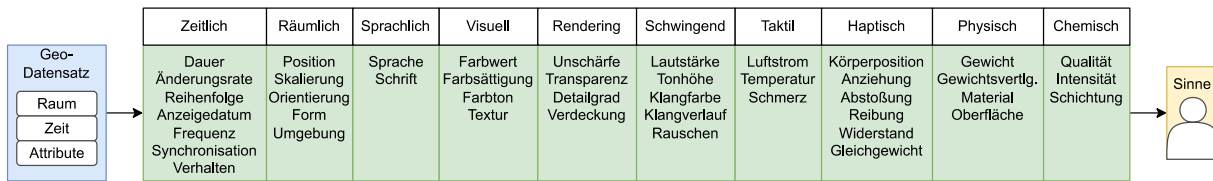


Abb. 2: Ein Ausschnitt aus der ersten Taxonomie. Gezeigt ist der neu etablierte Raum von sensorischen Variablen, sortiert nach der Art wie sie sich auf dem sensifizierte Objekt äußern.

Formaten abgebildet und dann mit aufwendigen prozeduralen Vorgängen mit einem Fokus auf visuelle Qualität und fiktiver Geometrie neu gerendert. Haben wir in Zukunft jedoch Zugriff auf ausreichend präzise Eingangsdaten, werden wir entsprechend neue Datenformate benötigen, um diese zu speichern und nutzen zu können. Daher wird hier basierend auf Arbeiten von (FERREIRA ET AL. 2014) eine hierarchische Taxonomie von Geodaten erstellt, welche nicht auf den Einschränkungen heutiger Technologien basiert, sondern ein beliebiges Level an Komplexität in Raum, Zeit und Datenthema zulässt. Die grundlegende Hierarchie ist in Abbildung 3 gezeigt. Sie kann genutzt werden, um generalisiert über zukünftige Anwendungen nachzudenken und macht dabei Aussagen über die erforderliche Datenqualität.

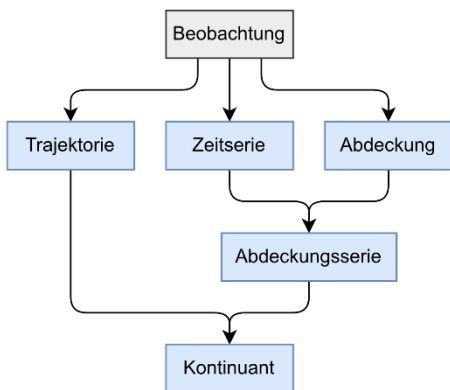


Abb. 3: Ein Ausschnitt aus der zweiten Taxonomie. Gezeigt ist eine Hierarchie von raumzeitlichen Datentypen für immersive Geo-Szenen.

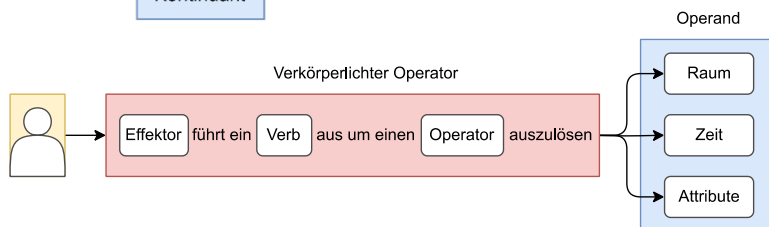


Abb. 4: Ein Ausschnitt aus der dritten Taxonomie. Gezeigt ist der Aufbau eines verkörperlichten Operators. Der Effektor ist ein Körperteil oder Werkzeug, das Verb beschreibt die benötigte Bewegung, und der Operator stellt die eigentlich ausgeführte (GIS-)Operation dar.

Die dritte Taxonomie systematisiert die Arten von verkörperlichten Interaktionen, die auf Geodaten in immersiven Umgebungen ausgeführt werden können, und beschreibt, wie sich das Interaktionsdesign im Vergleich zu herkömmlichen Geovisualisierungen verändern muss. Dies ist vor allem der Erkenntnis geschuldet, dass klassische von Maus und Tastatur getriebene Interaktionsformen in immersiven Anwendungen nur sehr eingeschränkt funktionieren. Stattdessen wollen wir in den meisten Szenen entweder den Körper selbst oder speziell auf die Anwendung zugeschnittene Werkzeuge als Interaktionsform nutzen. In Abbildung 4 ist daher basierend auf Arbeiten zu kartographischen Interaktionen aus (ROTH 2013) ein sogenannter „Verkörperlichter Operator“ definiert. Dieser besteht drei einzelnen Aspekten einer Interaktion und wirkt auf die in der zweiten Taxonomie definierten Daten.

Zusammen dienen diese Taxonomien dazu, die Schlüsselaspekte im Design von solchen verkörperlichten Geoanalyse-Systemen zu klassifizieren und systematisch zu erfassen. Diese grundlegenden Strukturierungen werden schlussendlich mit einem deutlich ergebnisoffeneren Design-Framework kombiniert, welches auf Arbeiten von (WILLETT ET AL. 2021) basiert. Hierbei werden die neuen Fähigkeiten, die uns immersive Anwendungen geben können, durch die konzeptuelle Linse von aus populären Medien bekannten Superkräften betrachtet. So könnte eine immersive AR-Visualisierung der Thermik eines Gebäudes als eine Superkraft namens „Hitzesicht“ konzeptualisiert werden. Dies erlaubt es uns auf, durch die Verbreitung dieser Superhelden-Medien inzwischen internationale, kulturelle Erwartungshaltungen

aufzubauen, z. B. mit welchen Farbskalen oder Transparenzen die thermischen Daten in der AR-Brille gerendert werden sollten.

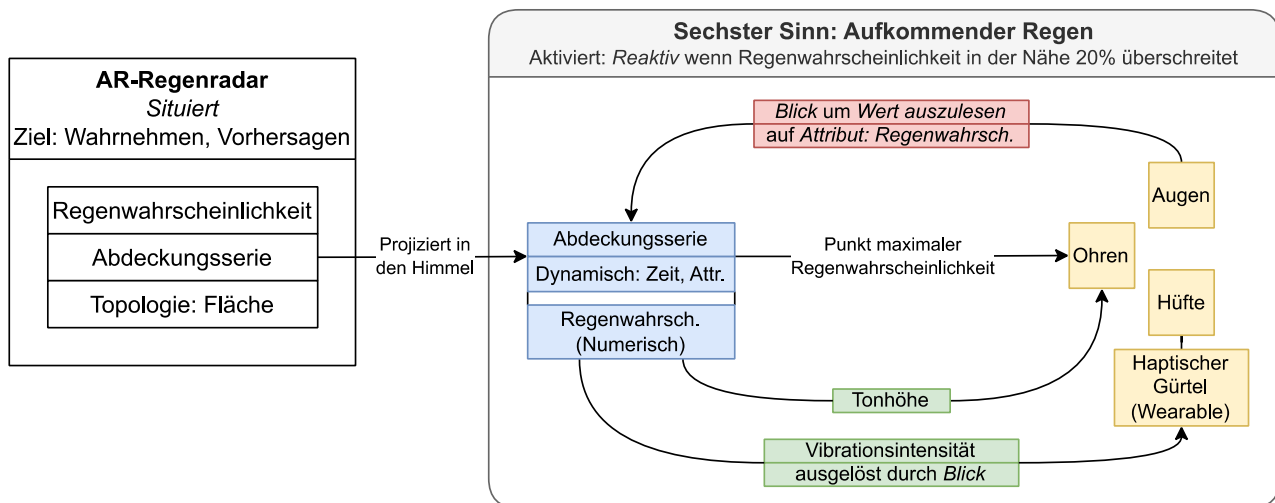


Abb. 5: Ein Beispielsystem, welches es ermöglicht, komplett ohne visuelle Komponenten vor aufkommendem Regen gewarnt zu sein.

In der Kombination der drei Taxonomien und diesem Design-Konzept entsteht dann schlussendlich ein Modell samt einer Diagrammsprache. Diese lassen die Spezifikation und Konzeption solcher Systeme auf einer hohen Abstraktionsebene zu. Abbildung 6 zeigt z. B. ein System zur persönlichen Früherkennung von Regenschauern, welches anstatt auf einem visuellen Display komplett auf Audio und Haptik-Eindrücken basiert. Dabei können wir sehen, wie auf der linken Seite zuerst eine Szene mitsamt den verfügbaren Geodaten beschrieben wird, und dann basierend auf dieser Szene eine Superkraft definiert wird, welche die vorher definierten Aspekte aus der Daten-Taxonomie (Abdeckungsserie), der Sensifizierungs-Taxonomie (Mapping auf Tonhöhe und Vibrationsintensität) und der Interaktions-Taxonomie (verkörperlichter Operator zum Auslesen von Regenwahrscheinlichkeits-Werten) nutzt. Die Sensifizierung spielt also einen Warnton sobald sich ein Regengebiet nähert und NutzerInnen können daraufhin in den Himmel schauen, um weitere Informationen über haptische Eindrücke zu erhalten. Dies könnte mit einer korrekt kalibrierten Sensifizierung, einfach tragbarer Hardware und häufiger Nutzung potenziell sogar zu einem unterbewussten, alltäglichen Prozess werden.

In der zugehörigen Arbeit konnte durch Anwendung dieses Modells auf verschiedene Fallstudien demonstriert werden, dass es in der Lage ist, unterschiedliche Systemtypen zu spezifizieren und bereits in der Entwurfsphase zur Identifizierung von Problemen sowie zur Entwicklung potenzieller Lösungen beizutragen.

Die Ergebnisse dieser Forschung bieten einen Leitfaden für die zukünftige Entwicklung von Geosensifizierung mit AR- und VR-Technologien. Ziel ist es, die Art und Weise, wie geografische Informationen erlebt und interpretiert werden weiterzuentwickeln und Möglichkeiten zu schaffen diese tiefer in unseren Alltag und intuitiver in unsere multimodale Erfahrungswelt zu integrieren.

Literatur

- FERREIRA, K. R., CAMARA, G. & MONTEIRO, A. M. (2014), An algebra for spatiotemporal data: From observations to events. In: Transactions in GIS, 18, 253–269.
- MACEachREN, A. M. (1995), How maps work: Representation, visualization, and design. Guilford Press.
- MCCORMACK, J., ROBERTS, J. C., BACH, B., FREITAS, C. D., ITOH, T., HURTER, C. & MARRIOTT, K. (2018), Multisensory immersive analytics. In: Immersive Analytics, 57–94.
- ROTH, R. E. (2013), An empirically-derived taxonomy of interaction primitives for interactive cartography and geovisualization. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 19, 2356–2365.
- WILLETT, W., ASENIERO, B. A., CARPENDALE, S., DRAGICEVIC, P., JANSEN, Y., OEHLBERG, L. & ISENBERG, P. (2021), Perception! Immersion! Empowerment! Superpowers as Inspiration for Visualization. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 28, 22–32.

Lokalisierung für Outdoor Augmented Reality mit 3D-Landschaftsmodellen

Simon BURKARD

Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS · Kaiserin-Augusta-Allee 31 · 10589 Berlin
E-Mail: simon.burkard@fokus.fraunhofer.de

1 Einführung ins Thema: Lokalisierung für geodatenbasierte Augmented Reality

Die Technologie der Augmented Reality (AR) ermöglicht neue Arten der Visualisierung, indem virtuelle Informationen positionsgetreu in der Kameraansicht der realen Umgebung auf mobilen Endgeräten eingeblendet werden. Auch Vor-Ort-Visualisierungen im Freien (Outdoor Augmented Reality) können auf diese Weise einfacher und verständlicher gestaltet werden, z.B. im Kontext von Bauplanungen durch eine positionsgetreue 3D-Darstellung von geplanten, virtuellen Bauwerken im realen Landschaftsbild (vgl. Abb.1 links).

Eine große Herausforderung bei der AR-Visualisierung von Geodaten (GeoAR) besteht in der präzisen globalen Lokalisierung (Registrierung) des AR-Systems, d.h. bei der Bestimmung von Position und Orientierung (Pose) des Endgeräts in Bezug auf ein geografisches Referenzsystem. Die Genauigkeit der üblicherweise in mobilen Geräten integrierten Sensoren zur Bestimmung der globalen Geräte-Pose ist für realitätsnahe Visualisierungen meist nicht ausreichend. Die Nutzung geeigneter alternativer Registrierungsverfahren ist für derartige GeoAR-Visualisierungen daher notwendig.

Im vorliegenden Beitrag wird eine solche alternative AR-Registrierungsmethode in Form eines manuellen Registrierungsverfahrens mit Hilfe von 3D-Landschaftsmodellen vorgestellt. Existierende 3D-Geodatenmodelle (Oberflächenmodelle, Geländemodelle und Stadtmodelle) werden dazu als virtuelle Repräsentation der Außenumgebung in der AR-Umgebung eingeblendet. Durch manuelles Angleichen der virtuellen Umgebung an die reale Welt auf dem Bildschirm der Endgeräte ist eine Korrektur der AR-Projektion und somit eine globale Registrierung des AR-Systems möglich (vgl. Abb.1 rechts).

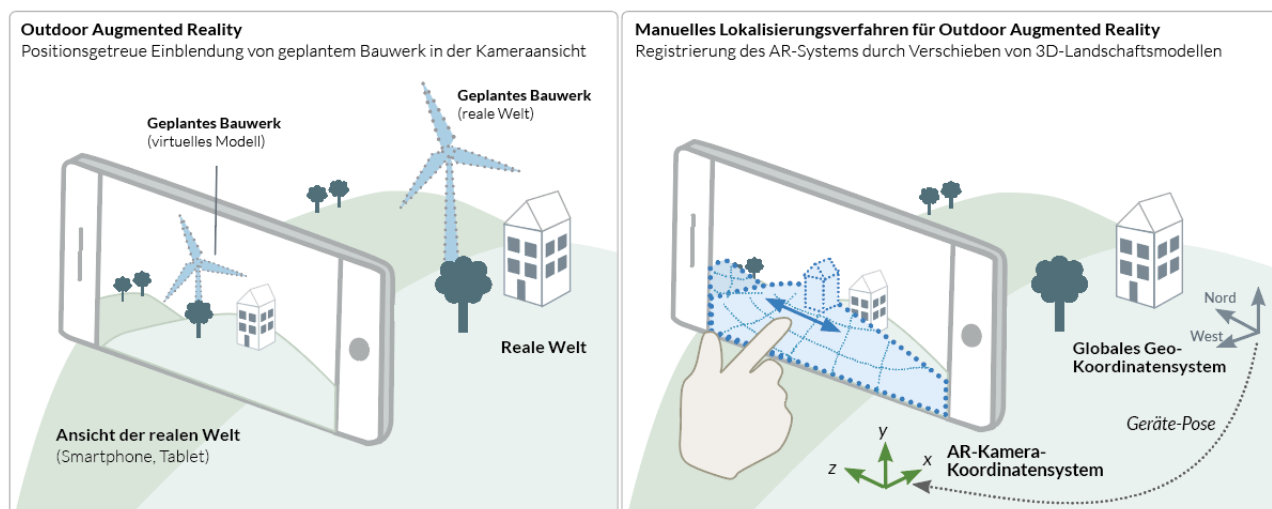


Abb. 1: Bei der Technologie der Augmented Reality werden virtuelle Informationen oder Modelle (z.B. Windräder) positionsgetreu in der Ansicht der realen Umgebung eingeblendet (links). Für eine korrekte AR-Visualisierung von Geodaten ist eine präzise globale Lokalisierung (Registrierung) des AR-Systems notwendig, beispielsweise durch ein Registrierungsverfahren mit Hilfe von virtuellen 3D-Landschaftsmodellen (rechts).

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Geodatenbasiertes AR-Registrierungsverfahren mit 3D-Landschaftsmodellen

Zur globalen Lokalisierung von AR-Systemen werden oftmals vollautomatische Ansätze eingesetzt, die auf einer bildbasierten Erkennung zuvor registrierter, großflächiger 3D-Umgebungen basieren. Diese sind jedoch ressourcenaufwändig, oftmals fehleranfällig und nicht auf beliebige großflächige Gebiete übertragbar, da sie große Datenbanken mit zuvor aufgenommenen georeferenzierten Bildern bzw. 3D-Punktwolken als Referenzmodelle

benötigen. Die Grundidee des hier vorgestellten manuellen Verfahrens besteht darin, dass durch aktive Mithilfe der Nutzer:innen bei Ausrichtung und Positionierung des AR-Systems ein flexibles und robustes Registrierungsverfahren entstehen kann, das in vielen Situationen vollautomatischen Erkennungsverfahren überlegen ist.

Zur Realisierung des Verfahrens wurde ein System entwickelt, das aus zwei Haupt-Komponenten besteht: In einer Geodatenverarbeitungskomponente werden öffentlich verfügbare 3D-Geodaten (3D-Landschaftsmodelle) unterschiedlicher Art verarbeitet, angeglichen und in kleinflächige georeferenzierte 3D-Kacheln umgewandelt, so dass sie für eine effiziente AR-Integration geeignet sind. Die zweite Komponente beinhaltet ein clientseitiges Registrierungs- und Tracking-System. Dort werden die 3D-Kacheln auf Basis einer groben initialen Schätzung der Geräte-Pose im Live-AR-Bild eingeblendet und können mittels Interaktionsgesten schließlich der realen Landschaft angeglichen werden, um die Gerätepose zu korrigieren und eine präzise globale Registrierung zu ermöglichen.

2.2 Anwendungsszenario „AR-Visualisierung von geplanten Windkraftanlagen im Landschaftsbild“

Die Bedienbarkeit und Genauigkeit des entwickelten Lokalisierungsverfahrens im Praxiseinsatz konnte im Rahmen einer Feldstudie und einer Pilotanwendung zur AR-Visualisierung von geplanten Windparks an mehreren Standorten getestet werden. Es konnte gezeigt werden, dass eine globale Registrierung des AR-Systems mit dem entwickelten Verfahren gut realisierbar ist, und zwar mit hoher Genauigkeit und hoher Flexibilität in verschiedenartigen Umgebungen (urban und ländlich), insbesondere bei Verwendung von texturierten Oberflächenmodellen (vgl. Abb.2. links). Weiterhin zeigte sich, dass durch die Integration von digitalen Oberflächenmodelle auch Verdeckungen von virtuellen Objekten (bspw. durch Gelände, Vegetation oder Gebäude) innerhalb der AR-Projektion gut berücksichtigt werden können. Dadurch sind sehr realitätsnahe AR-Visualisierungen möglich (vgl. Abb. 2 rechts).

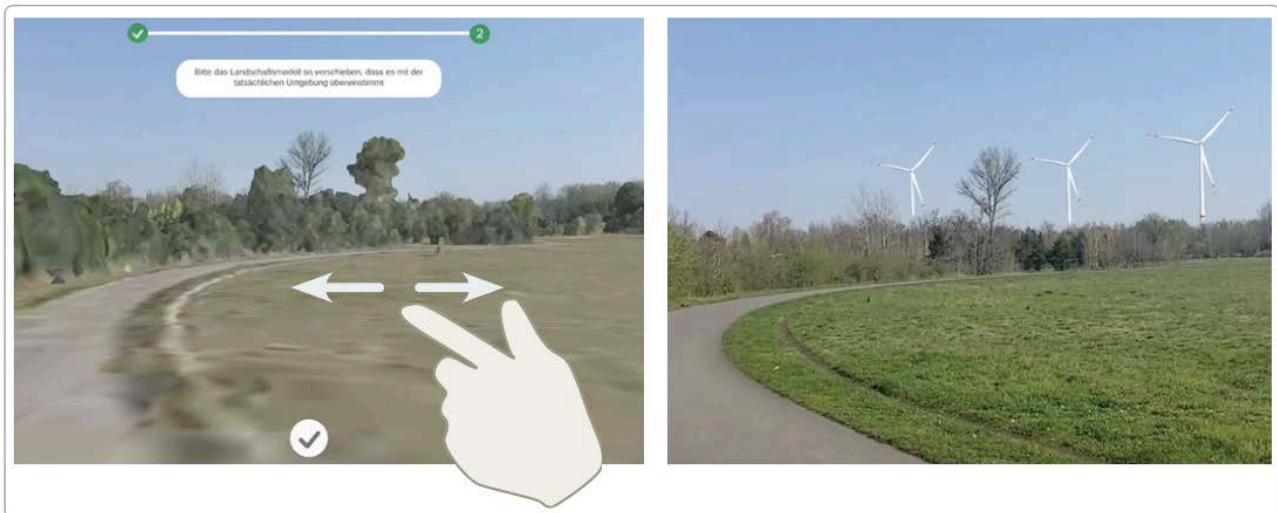


Abb. 2: Die Nutzung von texturierten Oberflächenmodellen zeigte innerhalb der Testszenarien bei der manuellen Ausrichtung der virtuellen 3D-Umgebung eine gute Bedienbarkeit (links). Damit ist zudem eine Berücksichtigung von Verdeckungen der virtuellen Modelle (bspw. durch Bäume und Vegetation) und somit eine AR-Visualisierung mit hohem Realitätsgrad möglich (rechts).

Literatur

- BURKARD, S. (2023), Geodatenbasierte Lokalisierung für Outdoor Augmented Reality. Doktorarbeit. Dissertation, Rostock, Universität Rostock.
- KIM, K., BILLINGHURST, M., BRUDER, G., DUH, H. B. L., & WELCH, G. F. (2018), Revisiting trends in augmented reality research: A review of the 2nd decade of ISMAR (2008–2017). *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(11), 2947-2962.
- SCHMALSTIEG, D. & HOLLERER, T. (2016), *Augmented reality: principles and practice*. Addison-Wesley Professional.

On the Information Transfer Between Imagery, Point Clouds, and Meshes for Multi-Modal Semantics Utilizing Geospatial Data

Dominik LAUPHEIMER

Institut für Photogrammetrie und Geoinformatik · Universität Stuttgart · Geschwister-Scholl-Straße 24D · 70174 Stuttgart
E-Mail: dominik.laupheimer@ifp.uni-stuttgart.de

1 Motivation

Over the past years, geospatial data acquisition has become more redundant, more complete, faster, and denser – both spatially and temporally. Sensors such as cameras and LiDAR scanners (not necessarily combined in one sensor system) facilitate airborne multi-modal capturing of our world via imagery and Point Clouds (PCs). The increasing availability of such geospatial data calls for automated multi-modal processing and scene analysis (multi-modal semantics).

1.1 Why Meshes?

Textured meshes implicitly integrate both representations by wiring the PC and texturing the reconstructed surface elements (faces) with selected high-resolution imagery (stored as the so-called texture atlas). Therefore, a mesh is a hybrid representation that jointly provides geometrical and textural information by a combination of vector data and raster data. Besides, meshes are adaptive to the underlying mapped geometry due to their graph structure composed of non-uniform and non-regular faces. Hence, the mesh is a memory-efficient realistic-looking 3D map of the real world – easily understandable even for non-experts. In contrast to point clouds, a mesh is a surface representation that may close data gaps caused by the acquisition configuration and measuring principle – particularly when combining photogrammetric and LiDAR PCs before mesh generation. The surface description enables visibility checks which cannot be done with point clouds. Despite the advantages of the mesh representation, the semantic segmentation of geospatial meshes is a widely overlooked topic in photogrammetry and remote sensing yet. Furthermore, data fusion and the respective combined analysis are still kept at a comparably low level despite the increasing multi-modal acquisition. Data fusion is often not considered due to data availability, asynchronous acquisition, co-registration challenges, memory constraints, or even by choice, e.g., limiting the fusion of LiDAR and imagery to (i) the colorizing of the LiDAR point cloud or (ii) the simple projection of LiDAR points into image space. In parallel to this work, a few researchers also target semantic mesh segmentation but focus on designing or applying existing mesh-dedicated architectures instead of data fusion (HANOCKA ET AL. 2019, GAO ET AL. 2022, KNOTT & GROENENDIJK 2021).

For these reasons, we primarily strive for semantic segmentation of meshes while leveraging the multi-modality by integrating information from images and the LiDAR sensor. With this work, we tackle this research gap for multi-modal semantics while enabling cross-modal information transfer, particularly occlusion-aware 2D-3D linking, by promoting the mesh to the core modality (see Section 2).

1.2 The Challenges

We encountered three key challenges at the start of our research:

- (1) Accessing the existing multi-modal information on the generated mesh is not possible. Even though meshes implicitly combine points and texture from the two sensor types, common mesh formats do not encode the information source. This implies that we must recover the connections from the mesh entities to the LiDAR points and imagery first so that we can take advantage of the actual multi-modality for automated scene interpretation.
- (2) To train machine learning classifiers, we need annotated geospatial mesh data. However, such Ground Truth (GT) was not publicly available at the beginning of the thesis. Therefore, annotating mesh data has to be done beforehand by ourselves.
- (3) Having in mind the large memory footprint of geospatial data, dealing with the entire gamut of captured data calls for efficient data handling and memory management.

1.3 Gist of Work

To kill three birds with one stone, we establish a multi-modal fusion, operating in a tile-wise fashion, that enables the seamless information transfer between imagery, point clouds, and meshes (see Section 2.1 and Fig. 1) without manual intervention. The holistic geometry-driven association mechanism explicitly integrates entities of the three modalities imagery, PC, and mesh (see Table 1). This novel integrative backbone infrastructure associating pixels from imagery, 3D points of photogrammetric/LiDAR clouds, and surface elements of meshes is the key innovation of the dissertation

(LAUPHEIMER 2022). The established entity relationships not only enable access to multi-modal data from the mesh, but also enable consistent inter-modal information transfer. The transfer encompasses the (i) feature transfer (measured or engineered) to enhance modality-specific entities to multi-modal descriptors and the (ii) label transfer (predicted or annotated), e.g., to reduce the manual annotation effort by transferring labels to other modalities. This allows the semi-automatic annotation of data by leveraging publicly available annotations of non-mesh data. The multi-temporal and multi-modal benchmark Hessigheim 3D is a product of this work (KÖLLE ET AL. 2021). By these means, we (1) achieve sensor integration on/through the mesh and (2) solve the lack of annotated mesh data while (3) facilitating scalability to large-scale geospatial meshes by dedicated tile-wise processing of images, PCs, and meshes.



Fig. 1: The explicit linking of pixels, points, and faces (multi-modal data fusion, see Table 1) enables the consistent information exchange across the three modalities point cloud (*left*), mesh (*center*), and imagery (*right*). The figure exemplarily depicts the automated label propagation from the manually annotated point cloud to the mesh and an oblique image (for a subset of Hessigheim 3D (KÖLLE ET AL. 2021)). Faces that cannot be linked to points remain without a label (depicted in *black*). Pixels that are linked to an unlabeled face are colored in *black*. Background and non-associated pixels are colored in *reddish-brown*.

To emphasize, the inter-modal linking enables access to measured points and images from the mesh, which is not inherently enabled for meshes – regardless of their genesis. To make it more tangible, the linking allows the mesh to use information not included in the mesh initially, such as the originally captured images (instead of the compressed texture atlas only) or reflectance data measured by the LiDAR sensor. Please note that the compact mesh-inherent texture atlas does not allow access to the captured imagery as such reference is not encoded in existing mesh formats. Besides, using the mesh as the core modality enables the occlusion-aware association and information exchange between 2D image space and 3D LiDAR points, which contrasts with the bare projection of 3D points.

In summary, we developed a powerful integrative backbone that explicitly links the available data sources, boosting GT generation, multi-modal learning, and joint semantic segmentation of imagery, PCs, and meshes. Loosely speaking, it allows juggling the modalities and their intrinsic information. Generally, the proposed methodology captivates with its simplicity and genericity. The method benefits from the recent hybridization trend and advances in data acquisition, co-registration, automatic surface reconstruction, and classifier design, making it very powerful for future developments. Our contribution may further increase the utility and the acceptance of the mesh in the photogrammetry and remote sensing communities.

2 Methodology and Applications

2.1 Multi-Modal Entity Linking

The novel holistic geometry-driven association mechanism explicitly integrates entities of the three modalities: (i) imagery, (ii) PC, and (iii) mesh (see Table 1). The mesh is the core modality of the inter-modal association coupling the three modalities by bilateral subprocesses, compactly presented in the following:

- **Point Cloud Mesh Association (PCMA):**
PCMA links each face with several points npts. The key idea is to associate points along the prism spanned by the face and its normal vector. Adaptive thresholding enforces the association of close-by points.
- **Image Mesh Association (ImgMA):**
ImgMA links each face with several pixels npx in various images nimg. The key is a customized ray tracing specifically designed to handle tiled 3D data. Each tile undergoes separate ray tracing, storing the associated face and depth information per pixel, along with the corresponding tile ID. The final step fuses these tile-wise results by depth information, linking each pixel with the closest face of all mesh tiles. It is important to note that the linking occurs between the mesh tiles and the originally captured images, i.e., not the lightweight texture atlas used for texturing the mesh.
- **Point Cloud Image Association (PCImgA):**

PCImgA links points and pixels in different images while checking the visibility via the mesh (in contrast to a simple, occlusion-agnostic projection). PCImgA is a combination of PCMA and ImgMA.

The implementation follows a tile-wise strategy to facilitate scalability to large-scale geospatial data sets. At the same time, it enables parallel, distributed processing, reducing processing time.

Table 1: Overview of the proposed method that links imagery, point cloud (PC), and mesh via inter-modal subprocesses (a) Point Cloud Mesh Association (PCMA), (b) Image Mesh Association (ImgMA), and (c) Point Cloud Image Association (PCImgA). The top depicts the concept in a pictographic manner. For each association mechanism, the transfer operations depend on the inter-modal entity relationships, the information type (feature or label), and the transfer direction resulting in either an aggregation (Median Aggregation or Majority Vote) or a simple copy operation (Copy Value). The pictograms on the right depict the face-centered linking of the respective entities. The inter-modal entity relationships are given by the number of points n_{pts} , pixels n_{px} , images n_{img} , and the considered face (1).

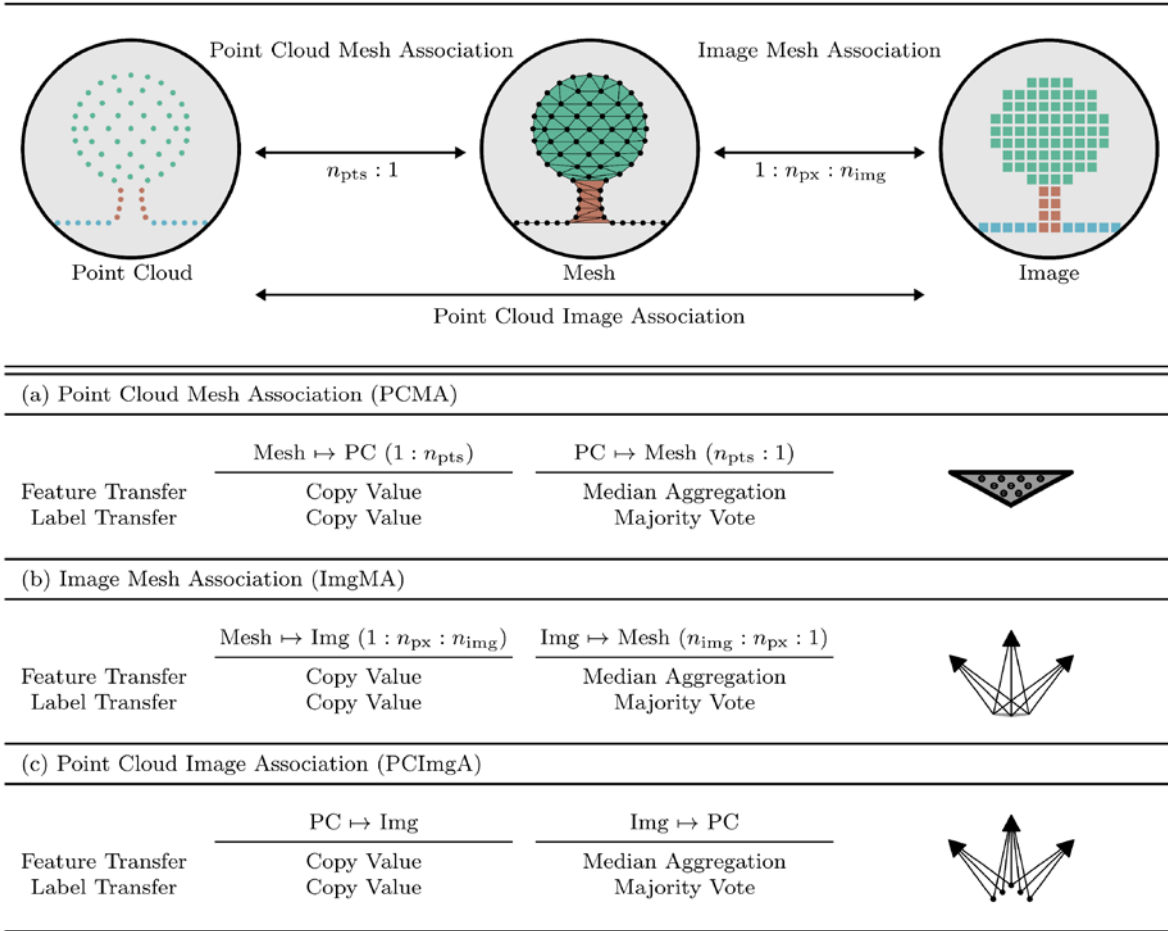


Fig. 2 demonstrates the reliability of the linking and the consistent inter-modal information transfer between the 3D modalities, compared to a simple inter-modal nearest-neighbor interpolation, which cannot cope with data gaps (black) and introduces interpolation artifacts. Due to the mesh as a mediator, the association between 3D and 2D space is also consistent, as the mesh allows visibility checks and facilitates an occlusion-aware projection.

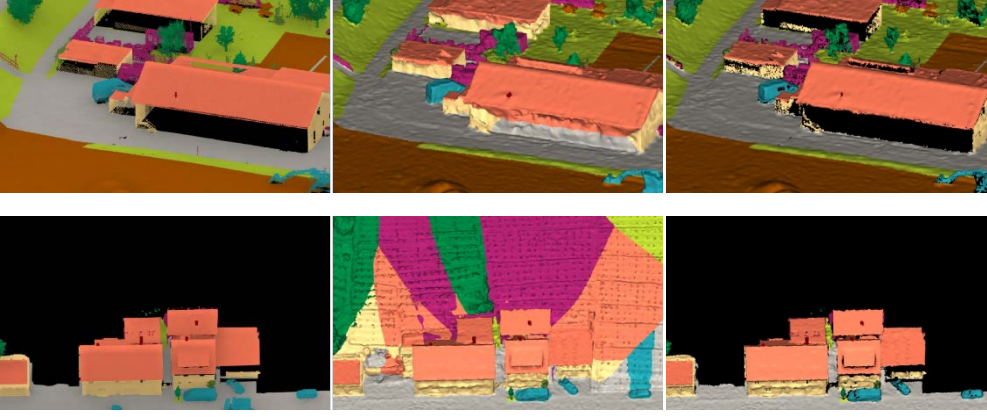


Fig.2: The manual annotations of two subsets (rows) of the Hessigheim 3D LiDAR PC (left) are automatically transferred to the mesh (center and right) via a) naïve nearest-neighbor interpolation (center) and b) our multi-modal entity linking (right). Data gaps and non-labeled parts are depicted in black.

2.2 Applications

The integrative backbone enables various applications that even go beyond our initial motives (see Section 1.2). For instance, it injects great versatility into the semantic segmentation of geospatial data (see Fig. 3). Imagery, PCs, and meshes can be semantically segmented with classifiers trained on any of these modalities utilizing features derived from any of these modalities (*multi-modality*). Particularly, we can semantically segment a modality by training a classifier on the same modality (*direct approach*) or by transferring predictions from other modalities (*indirect approach*). Hence, any established well-performing modality-specific classifier can be used for semantic segmentation of these modalities – regardless of whether they follow an end-to-end learning or feature-driven scheme. The shared information can be used for dedicated tasks like filtering/weighting image parts before/during image matching.

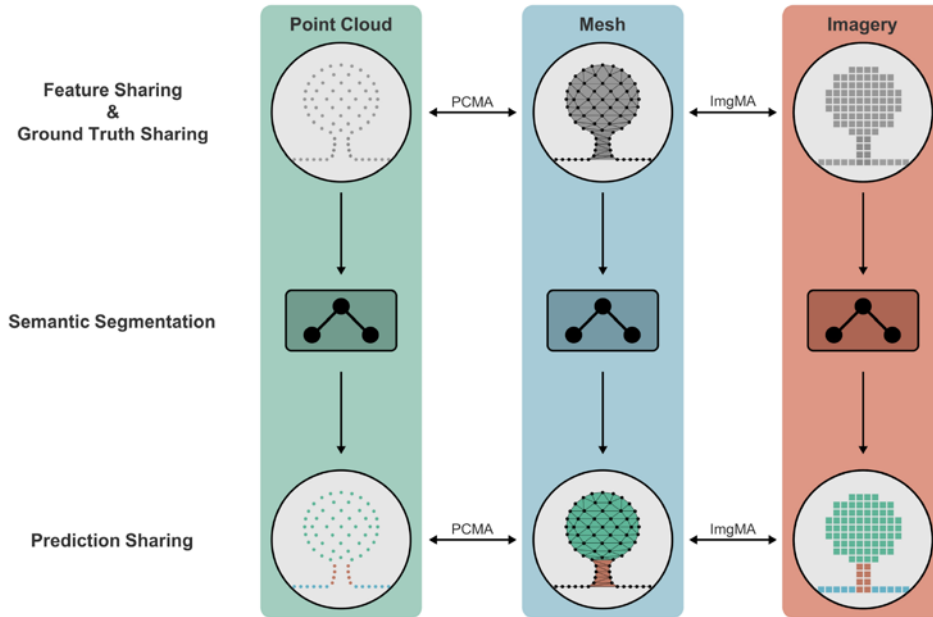


Fig.3: Compact overview of the injected flexibility into the joint semantic segmentation of the modalities imagery (*right*), point cloud (*left*), and mesh (*center*) utilizing the multi-modal entity linking as the backbone (see Table 1). The association strategy enables the flexible sharing of features (whether inherent or engineered) and labels (whether ground truth or predictions).

2.2.1 Efficient Multi-Modal Annotation

Since the dawn of the Deep Learning (DL) era, efficient GT generation has become a compelling task. Our linking and transferring methodology enables the consistent labeling of various representations while reducing the manual annotation effort to a single modality (semi-automatic labeling). For instance, labeled 3D data can be projected into image space to annotate multiple images at once, avoiding labor-intensive pixel-wise manual annotation. Besides, the semi-automatic

labeling avoids disjoint manual annotation processes and thus achieves consistent annotation across the modalities (see Fig. 1 and Fig. 2 [left and right]).

Please note that the multiple epochs of the Hessigheim data consisting of manually annotated PCs and semi-automatically annotated meshes are a result of this work and provided to the community as part of the Hessigheim 3D benchmark (KÖLLE ET AL. 2021). The community is encouraged to test any developed classifier on the benchmark. By these means, we implicitly foster a sustainable ablation study of classifiers that is not limited to the period of this work and keeps up with the time (e.g., with developments regarding the efficiency of mesh-based DL approaches).

To further reduce the labeling effort to only a few instances on a single modality, we combine the proposed information transfer with so-called Active Learning (AL). The key of AL is to label a sparse, informative subset instead of the entire data set. Additionally, we replace expensive experts by recruiting non-experts for the tedious labeling task. Specifically, annotation time and costs drop from several months and thousands of dollars to a few days and hundreds of dollars when comparing the full annotation by experts with sparse AL-steered labeling done by a crowd of non-experts. Classifiers trained on such sparsely annotated GT perform only 3 percentage points (pp) worse (for mF1 and OA (overall accuracy)) than their passive learning equivalents using 400 times more training points. In our experiments, we find that visualizing the mesh instead of PC improves the crowd’s labeling accuracy by up to 3 pp. In turn, the trained classifiers perform significantly better, too. We conclude that the realistic-looking appearance of meshes is easier to understand for non-experts than PCs and hence facilitates better annotation quality.

2.2.2 Multi-Modal Semantic Segmentation

Our extensive ablation study reveals the impact of multi-modality for automatic 3D scene interpretation in form of urban meshes. Table 2 and Fig. 4 show the significant performance increase (for *mF1* and *OA*) with increasing multi-modality. The classifier achieves the highest confidence and best performance when both data sources are integrated into the mesh. The combination of LiDAR data and imagery provides complementary representations as LiDAR data offers high-quality geometry, and imagery offers high-quality texture. Using both data sources for the classifier results in better performance for all classes (see Table 2). Particularly, small-scale classes like *Vehicle*, *Shrub*, and *Chimney*, which are not frequently found in the training distribution, benefit from the additional information. The presented evaluation utilized fast and robust Random Forest classifiers deploying data splits provided by the Hessigheim 3D benchmark (KÖLLE ET AL. 2021). The performance metrics have been evaluated on the face-level considering the covered area.

Table 2: Surface-aware per-class *F1* scores [%], *mF1* scores [%], and *OA* [%] of the semantic segmentation of the Hessigheim 3D mesh of the test split achieved with Random Forest classifiers utilizing a varying amount of the available sensor data: a) pure mesh geometry, b) textured mesh, i.e., mesh geometry and image content, and c) textured mesh enhanced by LiDAR attributes. Best-performing metrics are marked in bold. Class catalog: *c*₁: *Low Vegetation*, *c*₂: *Impervious Surface*, *c*₃: *Vehicle*, *c*₄: *Urban Furniture*, *c*₅: *Roof*, *c*₆: *Facade*, *c*₇: *Shrub*, *c*₈: *Tree*, *c*₉: *Gravel/Soil*, *c*₁₀: *Vertical Surface*, *c*₁₁: *Chimney*.

	<i>c</i> ₁	<i>c</i> ₂	<i>c</i> ₃	<i>c</i> ₄	<i>c</i> ₅	<i>c</i> ₆	<i>c</i> ₇	<i>c</i> ₈	<i>c</i> ₉	<i>c</i> ₁₀	<i>c</i> ₁₁	<i>mF1</i>	<i>OA</i>
a)	69.99	59.67	11.27	29.50	85.60	67.78	25.75	88.26	11.44	65.85	56.79	51.99	68.67
b)	86.32	85.98	15.51	46.32	86.54	68.78	45.26	90.84	27.06	67.04	49.81	60.86	80.51
c)	88.52	88.25	45.94	51.89	90.91	82.84	61.04	94.85	31.52	67.38		70.09	84.84

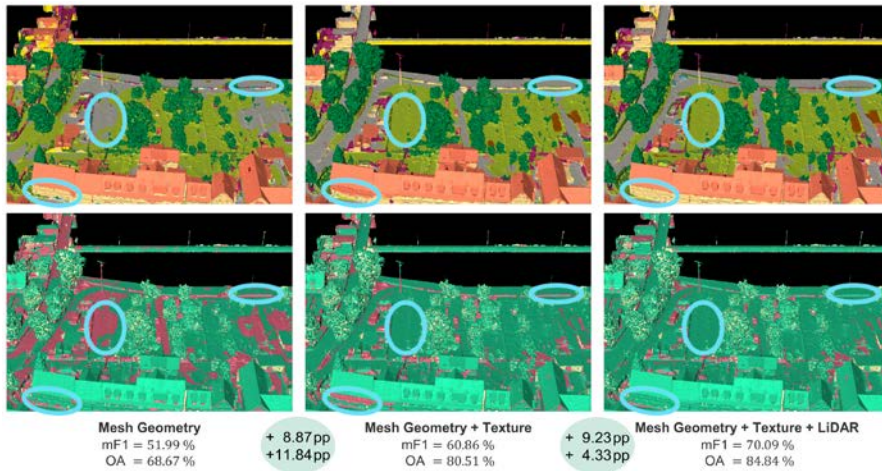
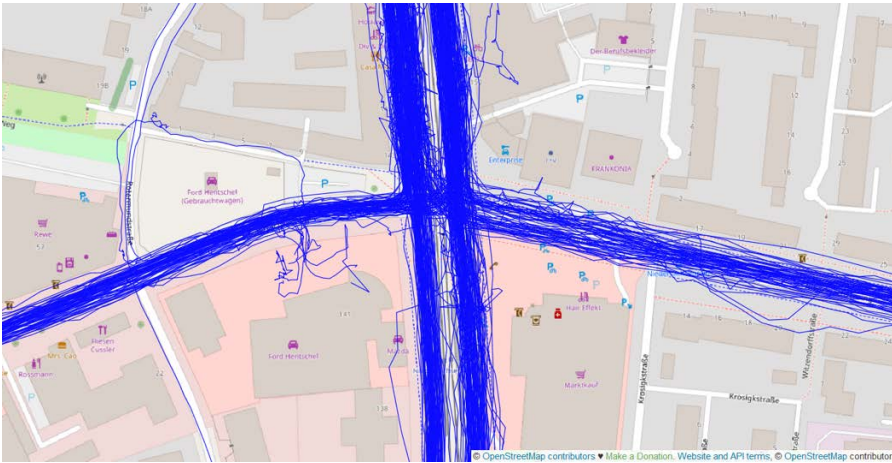


Fig. 4: Per-face predictions (*top*) and difference plots (*bottom*) achieved by utilizing a varying amount of the available sensor data: a) pure mesh geometry (*left*), b) textured mesh, i.e., mesh geometry and image content (*center*), and c) textured mesh enhanced by LiDAR attributes (*right*). The gradual improvements by increasing multi-modality (from *left* to *right*) are given by percentage points (pp) in the *green* ovals. The snapshots show a

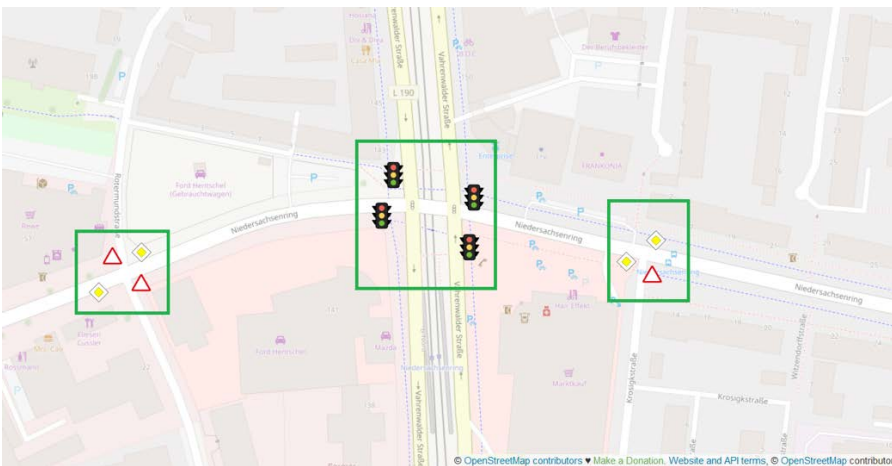
close-up of the lock area of the Hessigheim 3D mesh. Correct predictions are shown in *green*; false predictions in *red*. Faces with unknown ground truth are marked in *yellow*.

References

- GAO, W., NAN, L., BOOM, B. & LEDOUX, H. (2022), PSSNet: Planarity-Sensible Semantic Segmentation of Large-Scale Urban Meshes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 196: 32–44.
- HANOCKA, R., HERTZ, A., FISH, N., GIRYES, R., FLEISHMAN, S. & COHEN-OR, D. (2019), MeshCNN: A Network with an Edge. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 38(4):90.
- KNOTT, M. & GROENENDIJK, R. (2021), Towards Mesh-Based Deep Learning for Semantic Segmentation in Photogrammetry. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- KÖLLE, M., LAUPHEIMER, D., SCHMOHL, S., HAALA, N., ROTTENSTEINER, F., WEGNER, J. D. & LEDOUX, H. (2021), The Hessigheim 3D (H3D) Benchmark on Semantic Segmentation of High-Resolution 3D Point Clouds and Textured Meshes from UAV LiDAR and Multi-View-Stereo. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1:11. <https://ifpwww.ifp.uni-stuttgart.de/benchmark/hessigheim/default.aspx>
- LAUPHEIMER, D. (2022), On the Information Transfer Between Imagery, Point Clouds, and Meshes for Multi-Modal Semantics Utilizing Geospatial Data. University of Stuttgart, 2022, 149 S., <http://dx.doi.org/10.18419/opus-12668>.



(a) Trajectories as data for predicting traffic regulators.



(b) Traffic regulators as predicted from trajectories.

Fig. 2: Schematic illustration of the main objective of this dissertation: enriching maps with traffic regulators from low-cost data such as GPS trajectories.

2 Summary of the Presentation

The core methodology proposed in this dissertation involves analyzing crowdsourced GPS trajectories to reveal the movement patterns of traffic participants, under the premise that these patterns are influenced by traffic regulations. By complementing GPS data with static information derived from open maps (such as OpenStreetMap (OSM)), the dissertation demonstrates that traffic regulations can be predicted with higher accuracy.

2.1 Predicting Traffic Regulations from GPS and Map Data

For the classification task of street arms with respect to their traffic controls, various feature vector variations were explored: static information from a single intersection arm (derived from OSM), static information from all arms of an intersection, dynamic information from vehicle GPS trajectories extracted from a single intersection arm (including stopping episodes, deceleration episodes, speed, and movement patterns), dynamic information from all arms of an intersection, and combinations of static and dynamic features (hybrid model). Two classification algorithms were tested: Random Forests and Gradient Boosting (GB). The best performance across three different datasets (Champaign (US), Chicago (US), Hanover (DE)), was achieved using GB on the hybrid model incorporating all static features from all intersection arms. The classification performance is detailed in Table 1.

Table 1: Classification performance of the hybrid all-static model.

Dataset	Recall	Precision	F-score	Accuracy
Champaign	0.96	0.96	0.96	0.96
Chicago	0.92	0.93	0.92	0.92
Hannover	0.96	0.96	0.96	0.96

2.2 Enhancing Predictive Accuracy with Domain-Specific Knowledge

This dissertation proposed an additional consistency check for predicted labels at the intersection level, aiming to correct misclassified traffic regulators when possible. It was discovered that applying domain knowledge rules could rectify incorrect predictions in scenarios where context arms provide predictions and there is a noticeable inconsistency in the predicted labels, identified through a significant difference in predicted probabilities (with a threshold for probability difference set at 0.14). If all regulations at the same intersection are predicted with high probability, a recovery action is only initiated if there is no majority regulation label agreement. The application of domain knowledge rules resulted in an accuracy improvement of 1% to 3%. More crucially, it enabled accurate predictions for a number of arms with incomplete data, accounting for 29%-49% of the original dataset. Arms predicted solely based on context arm information showed high accuracy rates: 99% in Champaign, 98% in Chicago, and 100% in Hanover. Furthermore, the False Positive Rate (FPR) of the class with the highest initial FPR decreased significantly, by 15.6% to 60% (15.6% in Chicago, 60% in Champaign, and 58.3% in Hanover), underscoring the effectiveness of using domain knowledge rules to correct misclassifications and predict regulations for arms lacking trajectory data. Following the implementation of these rules, classification accuracy in the three datasets increased to 97% (up from 96%) in Champaign and Hanover, and to 95% (up from 92%) in Chicago. Table 2 shows the classification performance after applying knowledge rules.

Table 2: Classification results of the learning model after applying domain knowledge rules for recovering incorrect predictions and predicting regulation labels, when possible, for arms with no available trajectory data.

Dataset	Recall	Precision	F-score	Accuracy
Champaign	0.97	0.97	0.97	0.97
Chicago	0.94	0.94	0.94	0.95
Hannover	0.98	0.97	0.98	0.97

2.3 Traffic Regulation Recognition with Sparsely Labeled Data

The proposed Traffic Regulation Recognition (TRR) model was tested under different scenarios concerning the availability of labeled data. Exploring the scenario with no available labeled data, highlighted the limitations of clustering and the transferability of learning between cities (e.g., train the classifier on City A and predict label for City B, assuming that no labels are available from City B). Results showed that clustering fails to provide accurate predictions, and although learning can be transferred between cities, the accuracy diminishes compared to models trained and applied within the same city. The scenario with a limited amount of labeled data was examined through *self-training*, *active learning*, and the *cluster-then-label* method, with and without label propagation. Active learning emerged as the most effective, reducing the need for labeled training data by 66.7% across two tested datasets. This analysis underscores the challenges in optimizing TRR model performance with varying data availability and points to active learning as a key strategy for improving efficiency and accuracy.

2.4 Traffic Regulation Recognition with Stream Data (Online Learning)

A novel hypothetical scenario for incremental learning in TRR was explored, where a mobile application records GPS traces during driving for real-time traffic regulation prediction. Unlike batch learning TRR results, this incremental learning approach handles data streams (Fig. 3), allowing predictions at any point, adapting to evolving data, and processing infinite streams with limited resources. However, initial results show that the incremental model underperforms compared to batch learning models, with notable accuracy differences in the three datasets from Champaign, Chicago, and Hanover (Fig. 4). Interestingly, the accuracy in Hanover decreases and then slowly increases, suggesting the model's initial struggle and eventual adaptation to predicting regulations in areas with less training data. These experiments illustrate TRR problem-solving in a streaming data context, highlighting the complexities and possibilities of adapting TRR systems to real-world, evolving traffic scenarios.

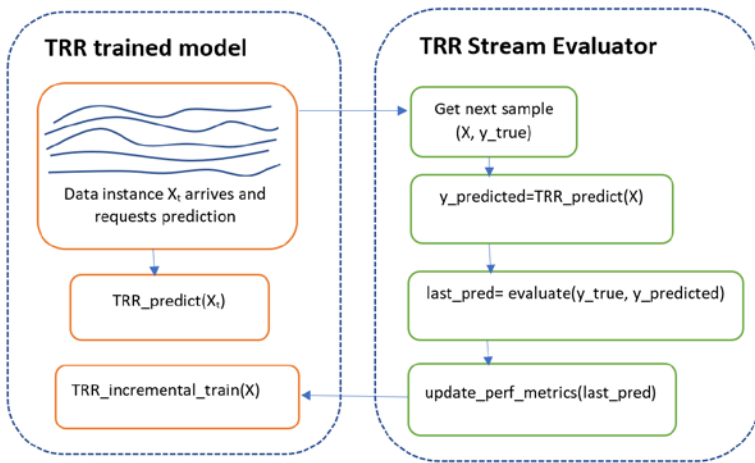
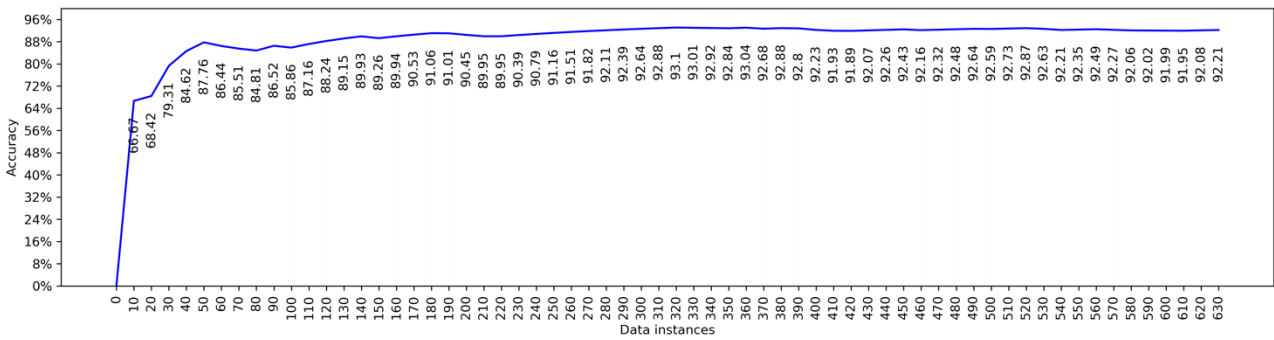
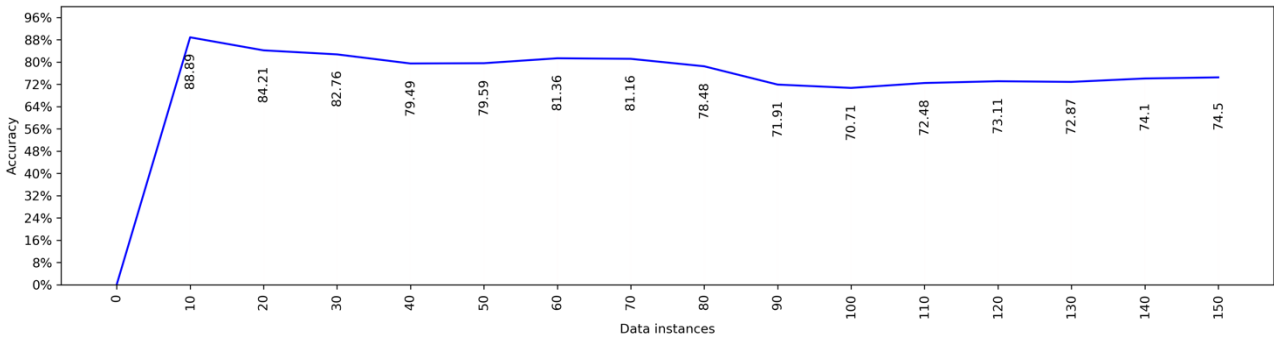


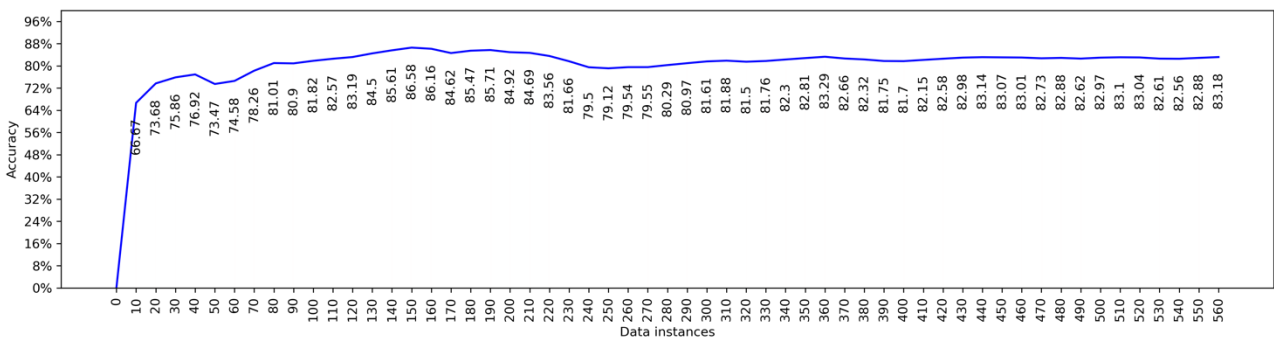
Fig. 3: A TRR incremental learning scenario.



(a) Champaign.



(b) Chicago.



(c) Hannover.

Fig. 4: Classification performance in the three datasets under a TRR incremental learning scenario.

References

- ALSHAYEB, S., STEVANOVIC, A., EFFINGER, J. R. (2021), Investigating Impacts of Various Operational Conditions on Fuel Consumption and Stop Penalty at Signalized Intersections. In: *International Journal of Transportation Science and Technology*.
- GASTALDI, M., MENEGUZZER, C., ROSSI, R., LUCIA, L. D., GECHELE, G. (2014), Evaluation of Air Pollution Impacts of a Signal Control to Roundabout Conversion Using Microsimulation. In: *Transportation Research Procedia* 3, pp. 1031–1040, 17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, EWGT2014, 2-4 July 2014, Sevilla, Spain.
- HU, S., SU, L., LIU, H., WANG, H., ABDELZAHER, T. F. (2015), SmartRoad: Smartphone-based Crowd Sensing for Traffic Regulator Detection and Identification. In: *ACM Transactions on Sensor Networks* 11 (4), pp. 55:1– 55:27.
- SAREMI, F., ABDELZAHER, T. F. (2015), Combining Map-Based Inference and Crowd-Sensing for Detecting Traffic Regulators. In: *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, pp. 145–153.
- ZHAO, Y., LI, S., HU, S., SU, L., YAO, S., SHAO, H., WANG, H., ABDELZAHER, T. (2017), Greendrive: A Smartphone-Based Intelligent Speed Adaptation System with Real-Time Traffic Signal Prediction. In: *Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS)*, pp. 229– 238.

Mobile Mapping durch Regelfahrzeuge im fließenden Verkehr - Chancen und Limits

Alexander REITERER^{1,2} und Bastian STAHL¹

¹ Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM · Georges-Köhler-Allee 301 · 79110 Freiburg
E-Mail: alexander.reiterer@ipm.fraunhofer.de und bastian.stahl@ipm.fraunhofer.de

² Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) · Universität Freiburg · Emmy-Noether-Straße 2 · 79110 Freiburg

1 Motivation und Systemkonzept

Heute lebt über 75 % der deutschen Bevölkerung in Städten. Ein großer Anteil des Bruttoinlandsprodukts wird hier erwirtschaftet. Städte sind aber empfindliche Knotenpunkte des Lebens und Handels. Unsere urbane Umgebung unterliegt einem kontinuierlichen Wandel: Bauvorhaben verändern unsere Infrastruktur, die Vegetation variiert bzw. wird vom Menschen angepasst und der natürliche Umwelteinfluss führt zu einem stetigen Wechsel charakteristischer Objektparameter. Extreme Wetterereignisse, wie Hochwasser, Hitzewellen oder Sturmereignisse, die aufgrund des Klimawandels verstärkt auftreten werden, stellen die Städte zunehmend vor Herausforderungen. Daher ist eine kontinuierliche Anpassung an die veränderten Bedingungen zum langfristigen Schutz unserer Bevölkerung und der Wirtschaftsfähigkeit unumgänglich. Damit einher gehen auch Herausforderungen hinsichtlich der Sicherheit und Wohlbefinden der Einwohner und Einwohnerinnen. Um Fragestellungen rund um die Themenbereiche Nachhaltigkeit und Sicherheit belastbar adressieren und beantworten zu können, aber auch Bauvorhaben optimiert durchführen zu können, bedarf es einer aktuellen Zustandsbeschreibung der Umgebung. Diese wird heute aus Kostengründen auf Basis bestehender, aber meist veralteter Daten (z. B. Kataster) durchgeführt. In seltenen Fällen werden aktuelle Daten erfasst und in den Planungsprozess einbezogen, was jedoch einen großen Mehrwert verspricht. Ein Beispiel: Valide Abschätzungen zeigen, dass beim Glasfaserausbau rund 10 % der Kosten eingespart werden könnten, wenn die Trassenführung auf Basis aktueller Oberflächen- und Umgebungsdaten festgelegt würde; das entspricht 1 Mrd. € allein in Deutschland in den nächsten Jahren. Vergleichbare Zahlen sind aus dem Stromnetzausbau und der Verdichtung der Gasinfrastruktur bekannt. Die Aktualität der Umgebungsdaten ist dabei von großer Bedeutung.

Eine dynamische und sich kontinuierlich verändernde Umgebung auf der einen Seite und der Bedarf an hochaktuellen Daten dieser Umgebung auf der anderen Seite lässt alle bisherigen Datenerfassungskonzepte scheitern. Satellitendaten und Flugzeugaufnahmen haben eine Aktualität von mehreren Wochen und Katasterpläne von Jahren. Die Lösung sind heute individuelle kleinräumige Vermessungen für spezifische Fragestellungen. Diese sind teuer und für Fragestellungen, welche tagesaktuelle und großflächige Daten benötigen, ungeeignet. Wir schaffen mit unserer Lösung einen völlig neuartigen Ansatz. Fahrzeuge, die sich ohnehin durch die Umgebung bewegen, werden als Plattform verwendet und mit einem kostengünstigen multimodalen Messsystem ausgestattet. Beispiele für solche Fahrzeuge sind Busse, Straßenbahnen, Taxis, Müllfahrzeuge etc.

Aufgrund der Komplexität der Stadtsysteme kommt den Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) bei der Datenauswertung eine besondere Rolle zu. Durch KI können wir komplexe Berechnungen, wie kurzfristige und lokal verortete Vorhersagen von Extremereignissen, langfristige Projektionen von Risiken als Planungsgrundlage oder intelligente Echtzeitsteuerung effizient und zuverlässig umsetzen. Die größte Herausforderung wird dabei die zeitnahe Verarbeitung und Aufbereitung der umfangreichen Daten sein, sodass möglichst instantan eine Nutzung der Daten vom Endanwender möglich ist. Wir gehen davon aus, dass pro Kilometer mehrere Gigabyte an Daten gesammelt werden. Eine Verarbeitung der Daten mit dem Ziel, diese möglichst dem Endnutzenden in Echtzeit zur Verfügung stellen zu können, kann nur gelingen, wenn bereits im Messsystem eine intelligente Vorverarbeitung und Datenreduktion erfolgt. Damit stellt das System mit der entsprechenden Datenauswertung und -anbindung eine echte Innovation dar.

2 Erste Ergebnisse

Aktuell wird eine universelle Prozesskette bestehend aus Messbox und Software zur Datenauswertung (in Echtzeit und im Postprocessing) entwickelt (eine schematische Darstellung findet sich in Abb. 1). Das Ziel ist die Schaffung eines möglichst effizienten und kostengünstigen Wegs für die Erfassung und Nutzung von Umgebungsdaten. Das Messsystem ist so kompakt und leicht, dass es auf Regelfahrzeugen wie Müllwagen, Straßenbahnen und Bussen einfach angebracht werden kann und eine Positionierungseinheit, Kameras, einen LiDAR, Speicher und eine Prozessierungseinheit enthält. Die Dateninterpretation ist in Echtzeit mit einer auf den spezifischen Anwendungszweck der Digitalisierung im urbanen Umfeld trainierten KI möglich. Ein Datenlink in ein entsprechendes Datenzentrum ermöglicht die Aufbereitung und Nutzung der Daten in Echtzeit.



Abb. 1: Automatisierte Erfassung der urbanen Umgebung in Echtzeit: Regelfahrzeuge, ausgestattet mit einer universellen Mess- und Datenverarbeitungsbox, kartieren die Umgebung, interpretieren die Daten in Echtzeit und übertragen die wesentlichen Informationen in ein Datenzentrum. Dort werden sie anwendungsspezifisch aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Die Daten haben einen hohen Wert sowohl für die Planung von Bauvorhaben, für den Unterhalt und die Pflege der Stadt-Infrastruktur, aber auch für Fragestellungen rund um Nachhaltigkeit und Sicherheit.

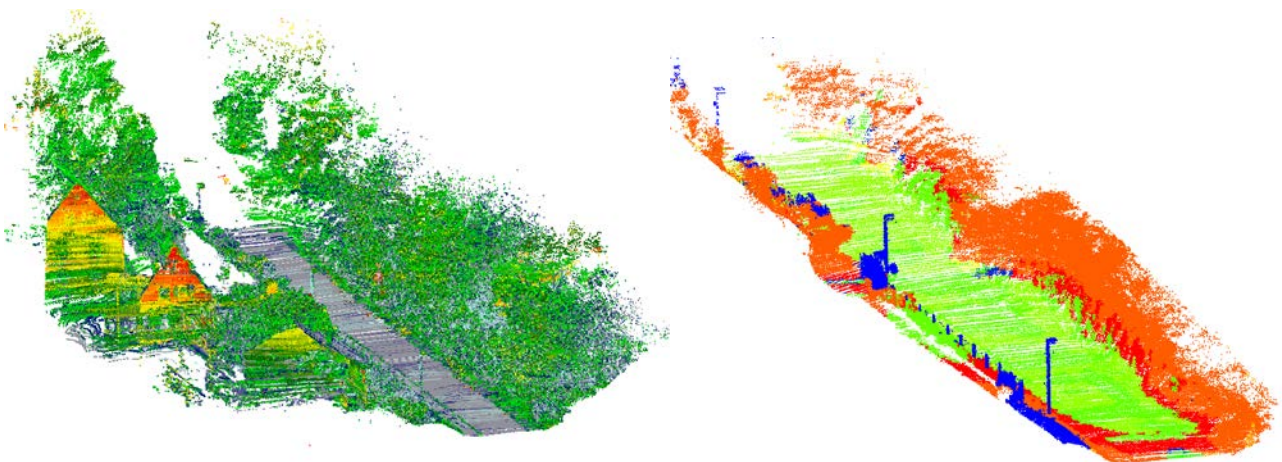


Abb. 2: Im linken Bild ist die aufgenommene Punktwolke zu sehen. Das Datenbeispiel stammt aus einem kleinen Wohngebiet in Freiburg. Im rechten Bild ist das segmentierte Ergebnis dargestellt. Der Fokus der Segmentierung liegt hierbei auf der Straßenszene. Die Fahrbahnfläche, Gehweg und Straßenmobiliar werden in den Daten erkannt. Gebäude und größere Vegetation werden hingegen aus den Punkten entfernt. Insbesondere der dichte Baumwuchs macht hier eine Erkennung sehr komplex.

UAV-Laserscanning mit Anwendungen an Land und unter Wasser

Gottfried MANDLBURGER

Department für Geodäsie und Geoinformation · TU Wien · Wiedner Hauptstr. 8-10 · 1040 Wien
E-Mail: gottfried.mandlburger@geo.tuwien.ac.at

1 Einleitung

Durch die fortschreitende Miniaturisierung von Sensoren kommen in den letzten Jahren verstärkt Laserscanner auf ferngesteuerten Flugplattformen zum Einsatz. Die im Englischen als Remotely Piloted Aerial System (RPAS) oder Uncrewed Aerial Vehicle (UAV) bezeichneten Trägerplattformen (Drohnen) erlauben heutzutage eine Traglast von mehr als 10 kg. Damit kommen als Nutzlast nicht nur verhältnismäßig leichte passive Kamerasysteme in Frage sondern zunehmend auch aktive, scannende LiDAR (Light Detection and Ranging) Sensoren (NEX et al., 2022). Dies hat die Erfassung Topographie und der Bathymetrie insofern revolutioniert, als durch die niedrigeren Flughöhen von typischerweise 40 - 120 m über Grund gegenüber dem klassischen Flugzeuglaserscanning eine wesentlich höhere Punktdichte von oftmals mehr als 500 Punkten/m² erreicht werden kann. Durch die entsprechend kleinen Strahldurchmesser erzielt man auch eine sehr hohe effektive räumliche Auflösung von besser als 5 cm. In diesem Sinne kann UAV-Laserscanning (ULS) daher als Nahbereichslaserscanning bezeichnet werden. Das ermöglicht eine detaillierte Erfassung der Umwelt mit Anwendungen in Land- und Forstwirtschaft, Geomorphologie, Monitoring von Geländebewegungen, Inspektion von Infrastruktur, sowie in der Hydrologie, Hydrographie, Hydrobiologie und Hydraulik (MANDLBURGER, 2022). Während zur Erfassung des trockenen Bodens und von Vegetation Laser im infraroten Bereich des Spektrums zum Einsatz kommen, erfordern hydrographische Anwendung wasserdurchdringende grüne Laser zur Erfassung der Wasseroberfläche und des Gewässergrundes. Letzteres wird dabei als Laserbathymetrie bezeichnet. Sensoren für die Erfassung und Modellierung von Küsten- und Inlandgewässern vom UAV stehen erst seit etwa fünf Jahren zur Verfügung (MANDLBURGER, 2022).

Eine wesentliche Triebfeder stellt derzeit die Automobilindustrie dar, wo im Kontext von Fahrerassistenzsystemen vermehrt LiDAR Sensoren zum Einsatz kommen. Durch Massenproduktion sinken die Kosten, und die erforderliche Miniaturisierung begünstigt die Integration auf leichten Drohnen. Derzeit ist ein verstärkter Einsatz solcher für den Verbrauchermarkt konzipierten Laserscanner für Vermessungsaufgaben zu beobachten (MANDLBURGER et al., 2024), wobei als Trägerplattformen Multicopter vorherrschen, aber auch (oftmals senkrecht startende) Flächenflieger eingesetzt werden. Der Beitrag bietet eine Einführung in die Konzepte der Sensoren für UAV-basierte Umwelterfassung ober- und unterhalb der Wasseroberfläche hinsichtlich Entfernungsmessung (Ranging) und Abtastung (Scanning). Darüber hinaus werden auch exemplarische Anwendungen von ULS besprochen.

2 Grundlagen von UAV Laserscanning

2.1 Sensorkonzepte

Wie auch im flugzeugbasierten Laserscanning (Airborne Laserscanning, ALS), kommt bei der UAV-basierten Erfassung der Topographie und Bathymetrie ein Multisensorsystem bestehend aus einer Navigationseinheit und dem eigentlichen Laserscanner zum Einsatz. Das Navigationssystem besteht aus einem Global Navigation Satellite System (GNSS) zur Positionierung der Messplattform und einer Inertial Measurement Unit (IMU) zur Bestimmung der Raumstellung. Die Auswertung der Navigationsdaten erfolgt meist in einem Kalmanfilter und liefert eine über die Zeit parametrisierte Trajektorie mit sechs Freiheitsgraden, nämlich drei Ortsvektoren (XYZ) und drei Navigationswinkel (roll, pitch, yaw). Der Laserscanner besteht aus der Entfernungsmesseinheit (LiDAR) und bei den meisten Geräten zusätzlich einer Strahlableitungseinheit (Scanning). Daraus können für jedes Laserecho 3D Koordinaten im Scanner-eigenen Koordinatensystem berechnet werden. Über den gemeinsamen Zeitstempel werden die Datenströme der Trajektorie und der Lasermessung kombiniert und man erhält über direkte Georeferenzierung als finales Produkt 3D Koordinaten in einem erdfesten, kartesischen Koordinatensystem (SHAN & TOTH, 2018).

Die verfügbaren UAV-Lasersensoren lassen sich grob in vier Kategorien einteilen: (i) Miniaturisierungen von klassischen ALS Sensoren, (ii) Rotierende Multibeam-Scanner, (iii) Time-of-Flight (ToF) Kameras und (iv) Hybridsysteme aus (i) und (ii). Geräte der ersten Kategorie haben ihren Ursprung in der präzisen geodätischen Kartierung und bestehen meist aus einem hochwertigen Laser mit einem einzigen Detektor (Avalanche Photo Diode, APD) und einer Strahlableitungseinrichtung. Multibeam-Scanner verzichten auf Strahlableitung und verwenden ein Bündel von bis zu 128 Lasern und korrespondierenden APDs. ToF Kameras weisen in Analogie zu einer konventionellen Kamera eine Matrix an APD Zellen auf, sodass für einen einzigen, stark aufgeweiteten Laserpuls ein 2D Tiefenbild entsteht, das über die bekannte innere und äußere Orientierung in eine 3D Punktwolke umgerechnet werden kann. Getrieben durch die Automobilindustrie kamen schließlich in den vergangenen Jahren Scanner mit hybridem Messkonzept auf den Markt,

welche die Konzepte der Strahlableitung mit der Idee von Multibeam-Scannern vereinigen. Wenige gepulste Diodenlaser (Pulsed Laser Diodes, PLD) werden über einen Scanmechanismus abgelenkt und die zurückgestreute Strahlung wird von korrespondierenden APDs detektiert. Als Ablenkungseinrichtung kommt dabei oft ein Risley Prisma zum Einsatz, mit dem unterschiedliche Punktmuster erzeugt werden können.

2.2 Ranging und Scanning

Die Entfernungsmessung erfolgt in der Regel mit dem Impulslaufzeitverfahren (ToF), das den Vorteil der Mehrzielfähigkeit mit sich bringt; d.h., zu einem ausgesandten Laserpuls können mit einem einzigen Detektor mehrere Ziele entlang der Laserstrahlachse erfasst werden. Diese Eigenschaft ist vor allem für die Vegetationserfassung von großer Bedeutung. Für die Erfassung einzelner Objekte im UAV-LiDAR werden folgende Techniken eingesetzt: (i) Diskrete Echoerfassung, (ii) Full Waveform Prozessierung und (iii) Geiger-mode/Single Photon LiDAR. Bei der diskreten Echoerfassung kommt ein Time-to-Digital Konverter zum Einsatz, der die Zeitmessung auslöst, sobald das reflektierte Signal einen gewissen Schwellwert über- oder unterschreitet. Diese Technologie wird vor allem in kostengünstigen Systemen verwendet. Aufwändiger aber präziser ist die Aufzeichnung der vollen Wellenform des zurückgestreuten Signals (Full Waveform, FWF), aus der die Signallaufzeit und die Signalstärke entweder online oder im Post-Processing bestimmt wird. Bei ToF Kameras kommen oftmals hochempfindliche Geiger-mode APDs zum Einsatz. Wegen der bislang moderaten Reichweite ist diese Technologie für ULS derzeit noch wenig verbreitet.

Das flächenhafte Abtasten (Scanning) erfolgt je nach Sensorconcept durch (i) konventionelle Strahlableitung über oszillierende oder rotierende Spiegel, (ii) durch Rotation des Laserstrahlenbündels bei Multibeam-Scannern oder (iii) gänzlich ohne bewegliche Teile bei den ToF Kameras. Letzteres wird auch als solid state scanning bezeichnet. Gegenüber herkömmlichem ALS weisen UAV-Scanner oftmals auch die Möglichkeit auf, den vollen 360° Kreis zu erfassen, womit bei annähernd horizontaler Flugachse Punkte unterhalb und oberhalb des Horizontes erfasst werden können. Einsatzbereiche dafür sind enge Straßenschluchten im urbanen und enge Talschluchten im alpinen Bereich. Bei Scannern mit Strahlableitung kommen im ULS neben reflektierenden Spiegeln auch Konzepte zum Einsatz, die auf Refraktion basieren. Besonders zu erwähnen ist dabei das sogenannte Risley Prisma, welches aus zwei abgelenkten Glaskeilen besteht, die unabhängig von einander mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Drehrichtung rotiert werden können. Dadurch entstehen mannigfaltige Scanmuster, die von linien- und kreisförmigen Punktanordnungen bis hin zu komplexen Blütenmustern reichen (LIU et al., 2022). Damit erreicht man bei UAV-basierter Anwendung, dass die Abtastung nicht nur lateral zur Flugrichtung erfolgt, sondern auch in gewissem Maße ein Vor- und Rückblick möglich ist. Dies ist vor allem für die Erfassung vertikaler Strukturen (z.B. Hausfassaden) vorteilhaft. Bei rotierenden Spiegeln lässt sich dies auch durch unterschiedliche Ausrichtung der einzelnen Spiegelfacetten erreichen.

2.3 Laserbathymetrie

Neben der Erfassung von Topographie, Gebäuden, Vegetation und Infrastruktur, nimmt auch im UAV-Bereich der Einsatz von Laserscanning für hydrographische Anwendungen, also zur Erfassung von Gewässertiefen zu. Dazu ist der Einsatz von wasserdurchdringenden Laserwellenlängen im sichtbaren grünen Bereich des elektromagnetischen Spektrums erforderlich. Die Standardwellenlänge für bathymetrische Anwendungen ist $\lambda=532$ nm, die sich als frequenzverdoppelte Sekundärwellenlänge eines konventionellen Nd:Yag Lasers mit $\lambda=1064$ nm ergibt. Laserpulse im grünen Spektralbereich werden einerseits an der Wasseroberfläche reflektiert und beim Eintritt in den Wasserkörper gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz abgelenkt. Im Wasser breitet sich der Laserstrahl mit verminderter Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca. 225.000 km/s aus und wird dort an Partikeln im Wasser vorwärts und rückwärts gestreut, wobei die Dämpfung stark von der Gewässertrübung abhängt. Nach der Reflexion am Gewässerboden und dem Rückweg des Signals wird die verbleibende Strahlung am Empfänger detektiert. Bei der Auswertung müssen die Brechung an der Wasseroberfläche und die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten in Luft und Wasser im Rahmen der Refraktionskorrektur berücksichtigt werden, wozu ein vollständiges Modell der Wasseroberfläche vorliegen muss. Die erzielbaren Eindringtiefen liegen ca. bei der 2-fachen Sichttiefe. Je nach Trübung können Tiefen von <3 m bei sedimentreichen Gewässern (Rhein, Donau, Nordseeküste) und von als 25 m bei klaren Gewässern (Polynesien, Karibikküste) erzielt werden.

3 Anwendungen

UAV-basiertes Laserscanning wird zunehmend in Produktionsumgebungen eingesetzt, vornehmlich dort wo hohe räumliche Auflösung im dm-Bereich und Höhengenaugigkeit im cm-Bereich erforderlich sind. Gegenüber flugzeugbasierter Anwendung, sind mit Drohnen nur eingeschränkte Gebietsgrößen mit einem einzigen Start bzw. mit einer einzigen Akkuladung erfassbar. Dies gilt vor allem für elektromotor-betriebene Multicoptersysteme, deren Betrieb i.d.R. mit ständigem Blickkontakt zwischen Fernpiloten und Fluggerät (engl., Line of Sight, LOS) erfolgt. Durch den Einsatz von vollständig autonom betriebenen Luftfahrzeugen außerhalb der Sichtweite (engl., Beyond Line Of Sight, BLOS), sind auch größere Flächen in einer einzigen Mission erfassbar. Drohnen dieser Kategorie sind meist von Verbrennungsmotoren angetrieben und kommen vor allem bei entlegenen Gebieten (z.B. Waldgebiete in Skandinavien)

zum Einsatz. Ein wesentlicher Aspekt beim ULS sind die moderaten Mobilisierungskosten, wodurch Wiederholungsmessungen einfacher durchführbar sind. Dies spielt vor allem beim Monitoring langsamer dynamischer Prozesse in der Geomorphologie, Hydrographie und der Landwirtschaft eine Rolle. UAV Laserscanning wird als hochauflösende 3D Basisdatenerfassung für folgende beispielhafte Anwendungsgebiete eingesetzt:

- Kartierung von Topographie und Bathymetrie
- 3D Stadtmodelle (LOD 3 Gebäude, Infrastruktur im Straßenraum)
- Land- und Forstwirtschaft (Precision Farming, Vegetationsstruktur, Biomasse, Wachstumsmonitoring...)
- Ökologie (Totholz, Macrophyten...) und Geomorphologie (Hangrutschungen, fluviale Erosion...)
- Inspektion (Brücken, Straßen, Gebäude...)

Abbildung 1 zeigt Beispiele von 3D ULS Punktwolken als Basis für die o.a. Anwendungen. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von Sensoren und Dienst Anbietern werden derzeit weitere Anwendungen erschlossen. UAV Laserscanning kann daher als expandierendes Feld bezeichnet werden, in dem sowohl anhaltender Fortschritt der Messtechnik (Sensoren, Plattformen) als auch zunehmende Einsatzgebiete zu beobachten sind.

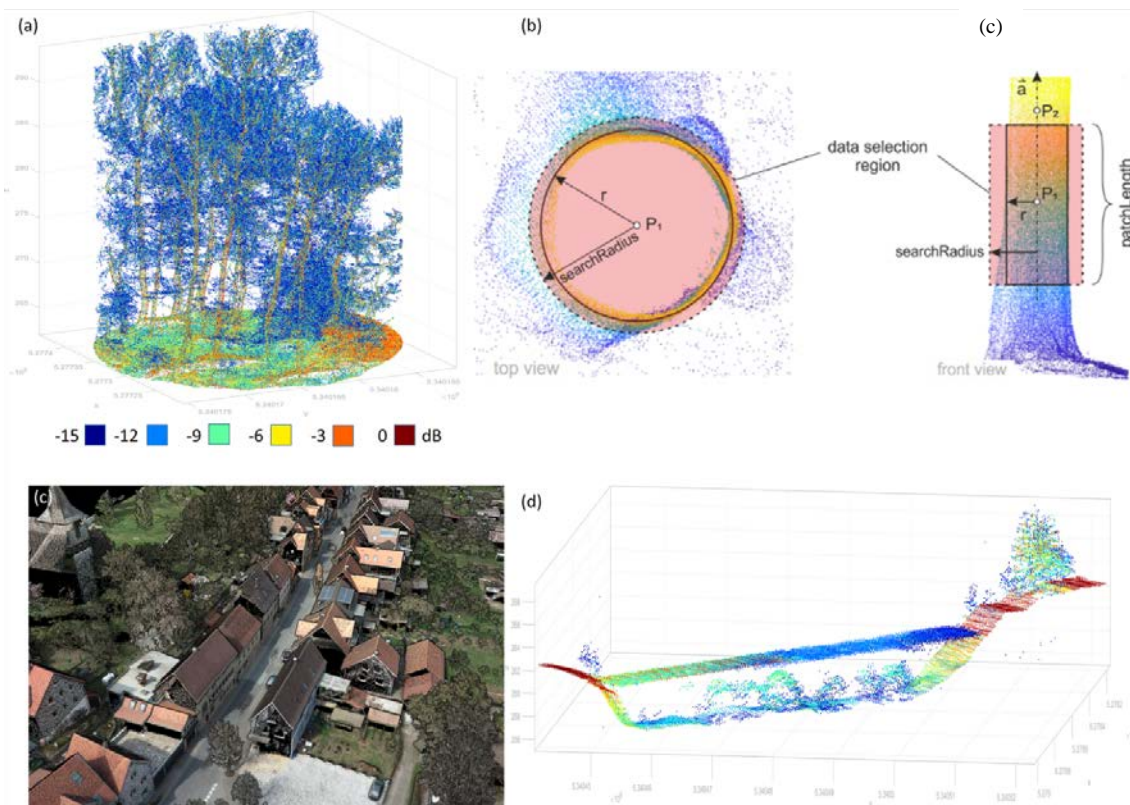


Abb. 1: (a) Baumgruppe eingefärbt nach Reflektivität, (b) Anwendungsbeispiel: Bestimmung von Brusthöhendurchmesser aus ULS Punktwolken, (c) 3D ULS Punktwolke von Hessigheim (Baden-Württemberg), RGB aus integrierter Kamera, (d) Profilschnitt UAV-Laserbathymetrie eingefärbt nach Reflektivität (Uferbereich + Vegetation, Wasseroberfläche, Macrophyten, Gewässerboden).

Literatur

- LIU, Z., ZHANG, F., HONG, X. (2022), Low-Cost Retina-Like Robotic Lidars Based on Incommensurable Scanning. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 27(1), 58–68.
- MANDLBÜRGER, G. (2022), UAV laser scanning. A. ELTNER, D. HOFFMEISTER, A. KAISER, P. KARRASCH, L. KLINGBEIL, C. STOCKER, A. ROVERE (Ed.), *UAVs for the Environmental Sciences - Methods and Applications*, wbg Academic, Darmstadt, 199–217.
- MANDLBÜRGER, G., KÖLLE, M., PÖPPL, G., CRAMER, M. (2024), Potential and limitations of consumer-grade UAV-LiDAR for 3D topographic mapping, *Allgemeine Vermessungsnachrichten*, in Druck.
- NEX, F., ARMENAKIS, C., CRAMER, M., CUCCI, D., GERKE, M., HONKAVAARA, E., KUKKO, A., PERSELLO, C., SKALLOUD, J. (2022), UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 184, 215-242.
- SHAN, J. & TOTH, C. K. (2018), *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. 2nd edn, CRC Press, Boca Raton, FL.

Hardwarebeschleunigte Verarbeitung von 3D-Daten auf mobilen Plattformen

Thomas WIEMANN^{1,2}

¹Fachbereich Angewandte Informatik, Robotik in der Informatik · Hochschule Fulda · Leipziger Straße 123 · 36037 Fulda
E-Mail: thomas.wiemann@informatik.hs-fulda.de und

²DFKI Niedersachsen, Planbasierte Robotersteuerung, Hamburger Straße 24 · 49084 Osnabrück
E-Mail: thomas.wiemann@dfki.de

1 Einleitung

Die Erstellung von 3D-Punktwolken mittels terrestrischer LiDARs ist eine weit verbreitete Form der hochpräzisen Vermessung dreidimensionaler Objekte. So eine Erfassung ist zeitaufwendig - einzelne Scans benötigen mitunter mehrere Minuten - und erfordert geschultes Personal, um die Scanpositionen zu planen. Eine Alternative zu solchen Stop-and-Go-Messungen ist die Vermessung mit mobilen Systemen, mit denen große Areale in kurzer Zeit digitalisiert werden können. Dabei werden Scans mit hoher Frequenz auf den sich bewegenden Fahrzeugen aufgenommen.

Mobile Messsysteme auf PKWs haben aufgrund ihrer eingeschränkten Perspektive wenig Möglichkeiten, hoch liegende Strukturen wie Dächer zu erfassen. Mit Flugzeugen aufgenommene Punktwolken sind aufgrund der Flughöhe und der Fluggeschwindigkeit sehr dünn und weisen in der Regel nur wenige Punkte pro Quadratmeter auf. Drohnen (UAVs) bieten großes Potenzial, die Defizite der vorhandenen Systeme auszugleichen. Sie können aufgrund ihrer Flugeigenschaften sowohl nah am Boden als auch in großer Höhe operieren und nah an die zu vermessenden Objekte fliegen. Sie können allerdings nur wenig Gewicht tragen und verbrauchen beim Fliegen viel Energie. Daher ist die Entwicklung von LiDAR-basierten Messsystemen für diese Plattformen mit vielen technischen Herausforderungen verbunden. Die Messeinrichtungen müssen klein, leicht und energieeffizient sein, um überhaupt auf einer Drohne betrieben werden zu können.

Im Betrieb fallen zudem viele Daten an, die möglichst in Echtzeit auf dem mobilen System verarbeitet werden müssen, um eine genaue Lokalisierung während der Kartierung zu gewährleisten. In den letzten Jahren wurden hochauflösende LiDARs mit geringem Gewicht und hoher Messfrequenz entwickelt. Aufgrund der Einschränkungen bezüglich Rechenkapazität und Energiebudget werden sie aber bisher selten zur Lokalisierung auf mobilen Plattformen eingesetzt. Heterogene Hardwareplattformen, die klassische CPUs mit Vektor- oder Grafikprozessoren (GPUs) und rekonfigurierbaren Architekturen (z.B. FPGAs) kombinieren, ermöglichen hohe Rechenleistung bei vergleichsweise geringem Energiebedarf. In diesem Beitrag wird ein in sich geschlossenes, energieeffizientes System zur Aufnahme und Echtzeitregistrierung von 3D-Punktwolken vorgestellt, das ohne GPS-Referenz operiert und ohne Systemintegration direkt auf mobilen Plattformen verwendet werden kann.

2 Sensorplattform zur Aufnahme von 3D-Umgebungsdaten

Das System zur Aufnahme von 3D-Punktwolken sowie eine damit aufgenommene Punktwolke ist in Abb. 1 dargestellt. Es besteht aus einem 3D-Laserscanner und einer mobilen Plattform mit einem FPGA-Beschleuniger. Die Plattform basiert auf dem Robot Operating System ROS (EISOLDT ET AL. 2023). Dies erlaubt einen modularen Aufbau des Systems und den einfachen Austausch von Komponenten. So können im bestehenden Setup verschiedene LiDAR-Sensoren zum Einsatz kommen. Getestet wurde das System mit einem Velodyne VLP-16 und einem Ouster OS1-128 Laserscanner. Die Systemarchitektur ist ebenfalls in Abb. 1 skizziert.

Zur Registrierung kommt ein TSDF-basiertes SLAM-Verfahren zum Einsatz (EISOLDT ET AL., 2023). Dieses kann effizient auf der vorhandenen CPU ausgeführt werden. Zur Filterung der Laserscannerdaten (Entfernungsfilter, Rauschfilter) wird ein FPGA-Beschleuniger verwendet. Dieser erlaubt es, die einkommenden Daten in Echtzeit vorzufiltern, bevor sie an den SLAM-Algorithmus weitergeleitet werden. Insgesamt ist dieses heterogene System aus CPU und FPGA deutlich effizienter als eine reine CPU-Architektur. Neben der Sensorplattform und der Systemarchitektur werden in diesem Beitrag auch verschiedene Einsatzbeispiele vorgestellt.

3 Einsatzbeispiele

Das System wurde in verschiedenen Einsatzszenarien getestet. Neben den in EISOLDT ET AL. (2023) gezeigten urbanen Szenarien, wurde das System auch in komplexeren und unstrukturierteren Umgebungen getestet. Durch die Integrationen von Kameras konnten aus der aufgenommenen TSDF-Repräsentation texturierte Dreiecksnetze aufgenommen werden (Rahn et al., 2023). Mit einem modifizierten SLAM-Algorithmus (GAAL ET AL., 2023) konnte mit einem Ouster OS1-128

eine hochaufgelöste 3D-Punktwolke in einem Waldgebiet aufgenommen werden. In PFEIL ET AL. (2024) wurde das System verwendet, um Bordsteine in urbanen Umgebungen zu detektieren und deren Höhe zu bestimmen. Beispielhafte Ergebnisse aus den letzten beiden Einsätzen sind in Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

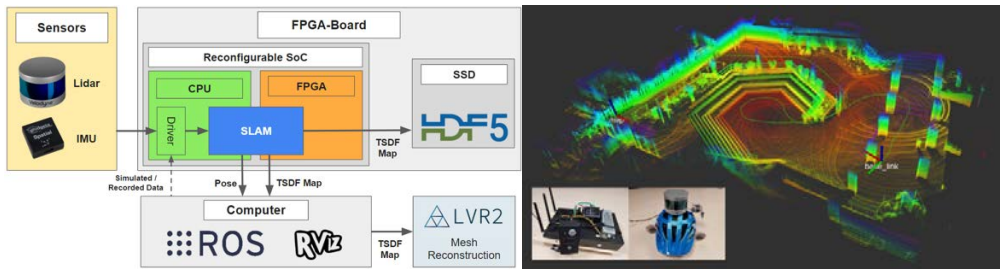


Abb. 1: Systemarchitektur (links) sowie eine Beispielpunktwolke und das Scanning-System (rechts).

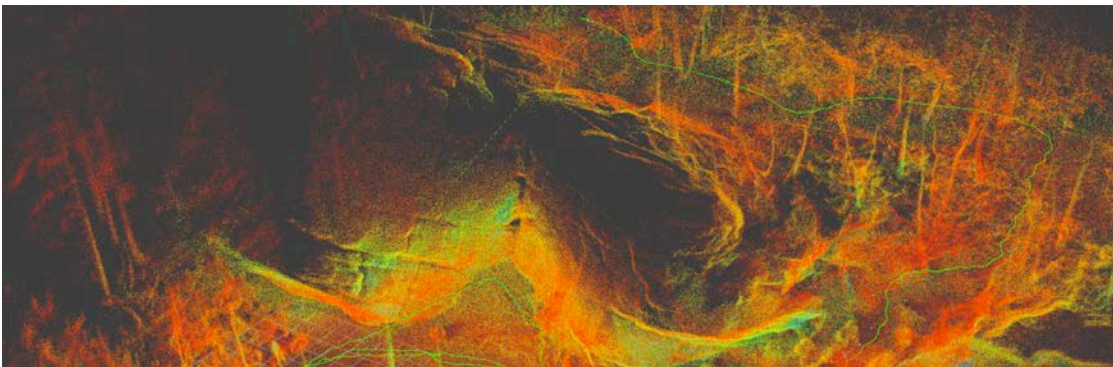


Abb. 2: Einsatz des Scanning-Systems im Wald am Dreikaiserstuhl in Ibbenbüren (GAAL ET AL., 2023).

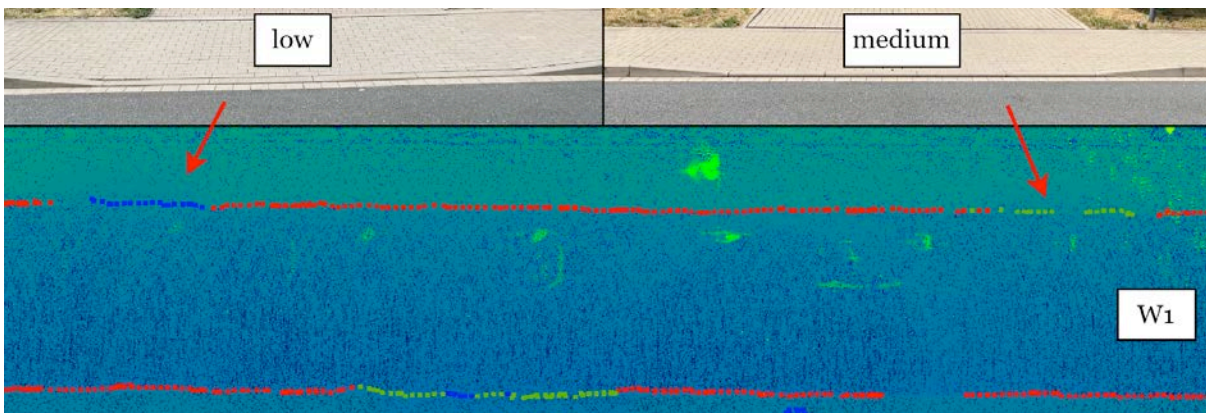


Abb. 3: Klassifikation und Kategorisierung von Bordsteinen in Daten des mobilen Messsystems (PFEIL ET AL., 2024).

Literatur

- EISOLDT, M. & GAAL, J. & WIEMANN, T. & FLOTTMANN, M. & ROTHMANN, M. & TASSEMEIER, M. & PORRMANN, M. (2022), A fully integrated system for hardware-accelerated TSDF SLAM with LiDAR sensors (HATSDF SLAM). *Robotics and Autonomous Systems*, 156, 104205.
- GAAL, J. & WIEMANN, T. & MOCK, A. & PORRMANN, M. (2023), FeatSense – A Feature-based Registration Algorithm with GPU-accelerated TSDF-Mapping Backend for NVIDIA Jetson Boards. *2023 IEEE International Conference on Robotics Computing (IRC 2023)*, IEEE 2023
- RAHN, S. & GEHRICKE, P. & PETERMÖLLER, C. & NEUMANN, E. & SCHLINGE, P. & RABIUS, L. & TERMÜHLEN, H. & SIEH, C. & TASSEMEIER, M. & WIEMANN, T. & PORRMANN, M. (2023), ReDroSe -- Reconfigurable Drone Setup for Resource-efficient SLAM, *ACM Digital Library*, 2023
- PFEIL, S. & WIEMANN, T. & STORCH, M. (2024), Bordsteinerkennung und Höhenbestimmung in 3D LiDAR-Daten mittels eines mobilen Kartierungssystems. In: Luhmann/Müller (eds.): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2024*, Wichmann Verlag, 2024

Die neuen Möglichkeiten von CityGML 3.0

Claus NAGEL

Virtual City Systems GmbH · Tauentzienstraße 7 b/c · 10789 Berlin

E-Mail: cnagel@vc.systems

1 Einführung ins Thema

Digitale 3D-Stadtmodelle werden weltweit erhoben und finden Anwendung in vielfältigen Bereichen wie Stadtplanung, Katastrophenmanagement, 3D-Kataster, Stadtmarketing und Tourismus, Umweltsimulationen, Fahrzeug- und Fußgängernavigation, und Facility Management. Zahlreiche Anwendungen, die über eine reine Visualisierung der 3D-Geodaten hinausgehen, erfordern dabei die Abbildung der physikalischen Realität über wohldefinierte Geo-Objekte wie Gebäude, Straßen, Brücken oder Gelände, die neben geometrischen und grafischen Aspekten insbesondere reichhaltige semantische Informationen wie Attribute, Bestandteilshierarchien sowie räumliche und topologische Relationen der Objekte vorhalten. Mit CityGML steht seit 2008 ein internationaler Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC) für Digitale 3D-Stadtmodelle zur Verfügung, der diese Anforderungen erfüllt. Als ein zentraler Baustein für Digitale Urbane Zwillinge spielen semantische 3D-Stadtmodelle auf Basis offener und freier Standards wie CityGML eine zunehmend wichtige Rolle.

Bereits im September 2021 wurde mit OGC CityGML Part 1: Conceptual Model Standard (KOLBE et al. 2021) der erste Teil der neusten CityGML Version 3.0 durch das OGC veröffentlicht. Mit dieser neuen Version bietet CityGML umfangreiche Verbesserungen, neue Objektarten und Modellierungskonzepte sowie neue Einsatzmöglichkeiten. Während der erste Teil der CityGML 3.0 Standardreihe die grundlegenden Ideen und Konzepte zunächst in Form eines abstrakten, konzeptuellen Datenmodells definiert, folgten im Juni und September 2023 mit dem zweiten Teil OGC CityGML Part 2: GML Encoding Standard (KUTZNER et al. 2023) sowie dem OGC CityJSON 2.0 Community Standard (LEDOUX & DUKAI 2023) zwei konkrete Datenkodierungsstandards, welche die Erfassung, Speicherung und den Austausch von CityGML 3.0 Datensätzen gemäß dem konzeptuellen Datenmodell ermöglichen. Zusammen mit weiteren aktuellen Entwicklungen wie bspw. den OGC APIs für die einfache Nutzung und Integration von Geodaten über das Internet, sind somit die Grundlagen für die Einführung und Nutzung von CityGML 3.0 in der Praxis gelegt.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

Der vorliegende Beitrag nimmt die aktuellen Veröffentlichungen aus der CityGML 3.0 Standardreihe zum Anlass, die wesentlichen Neuerungen von CityGML 3.0 im Vergleich zu den Vorgängerversionen vorzustellen. Der Fokus liegt dabei auf den wichtigsten Änderungen und Verbesserungen an bekannten Kernkonzepten und Bestandsmodulen wie dem Level-Of-Detail (LoD) Konzept oder dem Gebäudemodell, die typischerweise in allen bestehenden CityGML-Modellen genutzt werden. Darüber hinaus werden neue Möglichkeiten und Konzepte in CityGML 3.0 etwa zur Modellierung unterschiedlicher Raumarten (Spaces), zur Integration von IoT-Daten, zur Versionierung von Stadtmodellen oder zur Repräsentation semantischer Punktwolken diskutiert.

In einem zweiten Teil gibt der Vortrag einen Überblick über die aktuelle Unterstützung von CityGML 3.0 in ausgewählten Projekten und Software-Werkzeugen. Einen Schwerpunkt bildet dabei der Werkstattbericht über die aktuellen Entwicklungsarbeiten an der Version 5.0 der Open-Source CityGML-Datenbanklösung *3D City Database* (3DCITYDB), mit welcher die CityGML 3.0 konforme Speicherung und Verwaltung von 3D-Stadtmodellen auf Basis etablierter und effizienter räumlicher Datenbanksysteme möglich wird. Weitere Themen in diesem Vortragsteil betreffen etwa die automatische und verlustfreie Migration bestehender CityGML 2.0/1.0 Modelle auf die neuste Version 3.0.

Literatur

- KOLBE, T. H., KUTZNER, T., SMYTH, C. S., NAGEL, C., ROENDSORF, C., HEAZEL, C. (2021), OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard, Version 3.0. International OGC Standard, OGC Doc. No. 20-010, <http://www.opengis.net/doc/IS/CityGML-1/3.0>.
- KUTZNER, T., SMYTH, C. S., NAGEL, C., COORS, V., VINASCO-ALVAREZ, D., ISHIMARU, N., YAO, Z. (2023), OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 2: GML Encoding Standard, Version 3.0. International OGC Standard, OGC Doc. No. 21-006r2, <http://www.opengis.net/doc/IS/CityGML-2/3.0>.
- LEDOUX, H. & DUKAI, B. (2023), CityJSON Community Standard, Version 2.0. OGC Doc. No. 20-072r5, <http://www.opengis.net/doc/CS/covjson/2.0>.
- 3DCITYDB, <https://www.3dcitydb.org> und <https://github.com/3dcitydb> (geprüft am 20.02.2024).

Model driven transformation of CityGML towards CityOWL: from a 3D urban data model to a computational ontology

Diego VINASCO-ALVAREZ¹, John SAMUEL², Sylvie SERVIGNE³, and Gilles GESQUIÈRE⁴

1LIRIS UMR-CNRS 5205 · INSA Lyon · Université de Lyon · 7 avenue Jean Capelle · 69622 Villeurbanne, France

E-Mail: diego.vinasco-alvarez@liris.cnrs.fr

2LIRIS UMR-CNRS 5205 · INSA Lyon · Université de Lyon · 7 avenue Jean Capelle · 69622 Villeurbanne, France

E-Mail: sylvie.servigne@insa-lyon.fr

3LIRIS UMR-CNRS 5205 · CPE Lyon · Université de Lyon · 43, boulevard du 11 Novembre 1918 · 69616 Villeurbanne, France

E-Mail: sylvie.servigne@cpe.fr

4LIRIS UMR-CNRS 5205 · Université Lumière Lyon 2 · Université de Lyon · 7 avenue Jean Capelle · 69622 Villeurbanne, France

E-Mail: gilles.gesquiere@liris.cnrs.fr

1 Topic Introduction

In the context of data-driven approaches such as urban digital twins and smart city applications as tools for modeling, visualizing, and navigating the urban environment and its lifecycle, geospatial data standards are used to create and share data in interoperable manners. However, open urban data producers may not reuse the same data standards or propose their own internal, application-specific data structures and vocabularies. Additionally, data standards evolve over time, which may render older datasets incompatible with newer iterations of the same standard. These issues pose key technical hurdles in the development and maintenance of urban digital twin applications (LEI, B., JANSSEN, P., STOTER, J. & BILJECKI, F 2023).

This presentation illustrates several contributions towards improving urban data standards and ameliorating urban data interoperability. The work presented was realized as a part of the Ph.D. Thesis of Diego Vinasco-Alvarez, intitled “*Model-driven Integration of Heterogeneous n-Dimensional Urban Data*” (VINASCO-ALVAREZ, D 2023) within the LIRIS laboratory VCity project¹. In particular, we present our research towards producing a “computationally friendly” and machine-readable representation of the CityGML conceptual model, a data model for representing 3D semantic urban data. This representation permits the formalization of CityGML as a computational ontology (or knowledge graph) in Ontology Web Language (OWL). Informally named CityOWL, this representation can be easily shared and reused as linked open data (BAUER, F. & KALTENBÖCK, M 2011) in a variety of applications. To produce these results, we propose a robust Model-Driven Architecture (MDA) approach based on standards such as ISO 19150-2. An MDA approach permits the transformation of conceptual data models, like the CityGML model, while limiting the loss of semantic information and structure of the original model. We also present several proof-of-concept urban data applications created using CityOWL (cf. section 2.2). In addition, an MDA approach lends itself towards adaptability and reproducibility which is also demonstrated in this presentation.

2 Presentation Summary

This presentation will largely cover 2 aspects of our work: Our model-driven methodology for transforming conceptual models, the results of applying this methodology to the CityGML model and how we can exploit these results.

2.1 Methodology

While the ISO 19150-2 standard provides a basis for transforming geospatial UML models to OWL, implementing the ISO 19150-2 transformations requires taking into consideration the known limitations, ambiguities, and best-practices of the standard such as those identified in (JETLUND, K., ONSTEIN, E. & HUANG, L 2019). For example, the standard is notoriously ambiguous regarding the transformation of the <<Union>> classifier from geospatial UML models based on the ISO 191xx series of standards. Building off these works, we present our approach for adapting the ISO 19150-2 standard and transforming <<Union>>, <<CodeList>>, and other abstract geospatial modeling concepts to OWL.

Once transformed, the CityGML model can be linked to or aligned with existing spatio-temporal knowledge graph standards to reuse their vocabularies and provide interoperability with existing knowledge graph datasets. To this end, we present a set of alignments with existing ontological standards such as GeoSPARQL and OWL-Time.

2.2 Results and Applications

To evaluate the quality of the resulting CityGML model, we compare our results to existing transformations of the CityGML model as shown in Table 1. This table compares the results of our proposed approach on several representations

¹ <https://projet.liris.cnrs.fr/vcity/>

of CityGML versions 3.0 and 2.0. This table also compares the results of approaches which propose using XSD (XML Schema) as the input data description language for representing CityGML (MÉTRAL, C. & FALQUET, G 2018; CHADZYNSKI, A. et al 2021). The ontologies listed do not take into consideration axioms from imported or aligned ontologies from outside the CityGML standard, e.g., GML, GeoSPARQL. Ontologies created during our research are highlighted in bold. All CityGML ontologies created from XSD schema are transformed using XSL transformations.

Table 1: A comparison of different ontologies generated from the CityGML UML models and XML schema.

Source model	Source model language	# of Classes	# of Object-Properties	# of Datatype-Properties
CityGML 2.0 (VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIERE, G 2021-2)	UML	138	349	39
CityGML 2.0 (VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIERE, G 2021-1)	XSD	389	329	101
CityGML 2.0 (METRAL, C. & FALQUET, G 2018)	XSD	185	281	92
CityGML 2.0 (CHADZYNSKI, A. et al 2021)	XSD	343	263	23
CityGML 3.0 (VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIERE, G 2021-2)	UML	374	500	141
CityGML 3.0 (VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIERE, G 2021-1)	XSD	1647	901	230

In the case of CityGML, a UML based MDA transformation shows promising results for producing more concise results. As an ontology, this model can be used in data transformation pipelines to perform model-driven data transformation of CityGML dataset from XML to linked data knowledge graph formats such as RDF/OWL. This representation of the CityGML model can be used to validate these datasets after transformation. Additionally, they can be used in urban data applications² to contextualize the urban landscape (see Fig. 1).

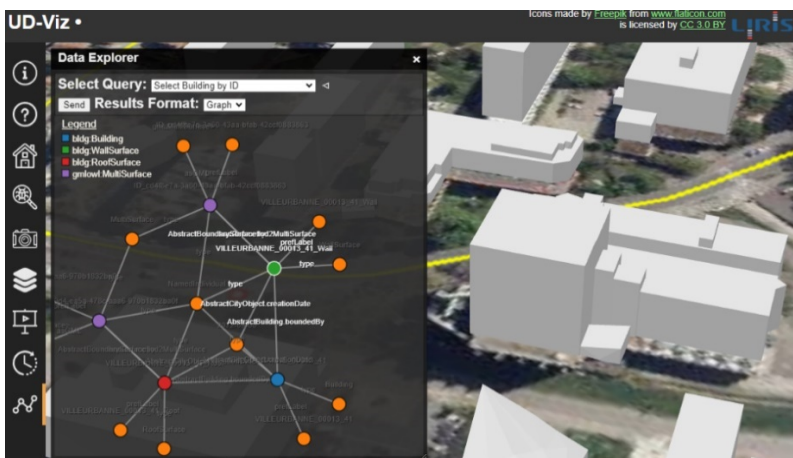


Fig. 1: A visualization of CityGML knowledge graph data used to contextualize a 3D scene.

A significant effort was dedicated throughout this research to present the aforementioned contributions in reproducible, interoperable, and accessible manners. Implemented data model and data transformation software and workflows are stored in the **UD-Graph**³ and **UD-Reproducibility**⁴ Github repositories respectively. Software archiving services such as Software Heritage are utilized to provide links to these contributions.

Bibliography

BAUER, F. & KALTENBÖCK, M., Linked open data: The essentials. Edition mono/monochrom, Vienna 710, 21 (2011).

² <https://projet.liris.cnrs.fr/vcity/permalink/demo-multi-dim-navigation.html>

³ <https://github.com/VCityTeam/UD-Graph>

⁴ <https://github.com/VCityTeam/UD-Reproducibility/tree/master/Computations/RDF/CityOWL>

- CHADZYNSKI, A. et al., Semantic 3D City Database — An enabler for a dynamic geospatial knowledge graph. *Energy and AI* 6, 100106 (2021).
- JETLUND, K., ONSTEIN, E. & HUANG, L., Adapted Rules for UML Modelling of Geospatial Information for Model-Driven Implementation as OWL Ontologies. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8, (2019).
- LEI, B., JANSSEN, P., STOTER, J. & BILJECKI, F., Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Automation in Construction* 147, 104716 (2023).
- MÉTRAL, C. & FALQUET, G., Extension and Contextualization for Linked Semantic 3D Geodata. in *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. XLII-4-W10 113–118 (Copernicus GmbH, 2018).
- VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIÈRE, G., Towards a semantic web representation from a 3D geospatial urban data model. in *SAGEO 2021, 16ème Conférence Internationale de la Géomatique, de l'Analyse Spatiale et des Sciences de l'Information Géographique*. 227–238 (La Rochelle [Online Event], France, 2021).
- VINASCO-ALVAREZ, D., SAMUEL, J., SERVIGNE, S. & GESQUIÈRE, G. Towards Limiting Semantic Data Loss In 4D Urban Data Semantic Graph Generation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* VIII-4/W2-2021, 37–44 (2021).
- VINASCO-ALVAREZ, D. Model-driven Integration of Heterogeneous n-Dimensional Urban Data. (Université Lyon 2 Lumière, Lyon, France, 2023).

Erkennung und Interpretation von Änderungen in CityGML-basierten 3D-Stadtmodellen

Son H. NGUYEN und Thomas H. KOLBE

Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstr. 21 · 80333 München
E-Mail: son.nguyen@tum.de, thomas.kolbe@tum.de

1 Motivation

In den letzten Jahren haben sich Urbane Digitale Zwillinge (engl. Urban Digital Twins) aufgrund ihrer wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Bedeutung rasant entwickelt und erhebliche Aufmerksamkeit erlangt. Trotz einer Vielzahl von Definitionen besteht ein allgemeiner Konsens darüber, dass ein kontinuierlicher bidirektionaler Datenfluss zwischen der physischen Welt und ihrem virtuellen Duplikat eine grundlegende Voraussetzung für einen Urbanen Digitalen Zwilling ist. Dies bedeutet, dass das System in der Lage sein muss, Änderungen sowohl in der realen Welt als auch in den damit verbundenen virtuellen Stadtmodellen effizient und automatisch zu erkennen. Darüber hinaus muss das System auch fähig sein, die detektierten Änderungen zu verstehen und aussagekräftige Schlussfolgerungen über deren Ursachen, Auswirkungen, usw. zu ziehen. Änderungen treten häufig nicht isoliert auf, sondern stehen in Zusammenhang mit anderen. Dieser Schritt ist besonders wichtig, da er verschiedensten Stakeholdern eines Urbanen Digitalen Zwillings einen bedeutenden und „maßgeschneiderten“ Einblick in die Entwicklung der Stadt bietet, unter Berücksichtigung ihrer unterschiedlichen Perspektiven.

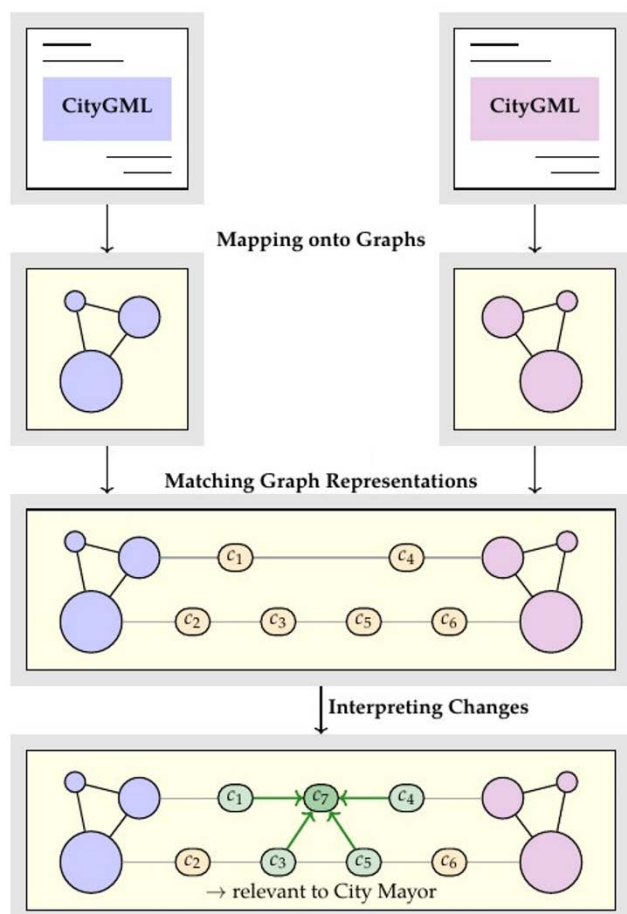


Abb. 2:
Ein Überblick über den Workflow dieser Forschung

Im Kontext von Smart Cities und semantischen 3D-Stadtmodellen hat es jedoch noch keinen bedeutenden Durchbruch bei der Implementierung solch komplexer Systeme zur Erkennung und Interpretation von Änderungen gegeben, insbesondere auf der virtuellen Seite eines Urbanen Digitalen Zwillings. Obwohl verschiedene Methoden zur Erkennung von Änderungen in semantischen 3D-Stadtmodellen bereits vorgestellt wurden (NGUYEN 2017), wurde ihrer Interpretation bisher weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Dies gilt insbesondere für die Identifizierung von Mustern in einer großen Anzahl von Änderungen sowie die Erstellung individuell angepasster Schlussfolgerungen für verschiedene Stakeholder. Um dies zu ermöglichen, werden semantische 3D-Stadtmodelle, die meist als CityGML-Datensätze verfügbar sind, aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeiten zu Graphen zunächst auf einen semantischen Graphen

abgebildet. Die originalen CityGML-Datensätze werden dann miteinander verglichen, indem ihre Graphrepräsentationen miteinander verglichen werden. Interpretationen werden dann basierend auf den erkannten Änderungen erzeugt, die ebenfalls im selben Graphen gespeichert sind. Es wird ein Werkzeug vorgestellt, das als erstes in der Lage ist, CityGML 3.0 Datensätze auf Graphen abzubilden. Abbildung 1 bietet einen Überblick über den gesamten Workflow dieser Forschung.

2 Inhalt des Vortrags

2.1 Abbildung von CityGML 2.0 und 3.0 Datensätzen auf Graphen

Das Datenmodell CityGML 3.0 (KOLBE ET AL., 2021), ebenso wie seiner Vorgänger CityGML 2.0, verfügt über ein breites Spektrum an Objekt-Klassen und eine komplexe Klassenhierarchie. Stadtobjekte umfassen nicht nur visuelle Darstellungen, sondern auch semantische, geometrische, und topologische Informationen. Hinzu kommen syntaktische Ambiguitäten, die es ermöglichen, ein (City)GML-Objekt auf mehrere Arten zu definieren. Dies bietet den Benutzern Flexibilität, erschwert jedoch das Lesen und Parsen solcher Elemente. Die meisten heute verfügbaren Werkzeuge betrachten CityGML-Datensätze als XML-Dokumente oder stellen sie in relationaler Darstellung dar, wie die 3D City Database (3DCityDB). Wegen der komplexen Prozesse zum Erkennen von Änderungen in CityGML-Objekten und zum Interpretieren solcher detektierten Änderungen, und aufgrund der netzwerk-artigen Struktur von CityGML selbst, werden CityGML-Datensätze auf Graphen abgebildet. Hierfür wurde eine generische Methode entwickelt, die so universell ist, dass sie alle CityGML-Objekte, unabhängig von Version 2.0 oder 3.0, thematischen Modulen und Levels of Detail (LOD), auf Graphen abbilden kann. Die Anwendungen von solchen Graphrepräsentationen sind vielfältig. Sie werden zum einen verwendet, um Änderungen zwischen CityGML-Datensätzen zu finden. Zum anderen können diese Graphen für weitere Anwendungen genutzt werden, beispielsweise für die multimodale Navigation innerhalb einer Stadt anhand der Graphrepräsentationen der Straßenmodelle in CityGML 3.0 (OLBRICH 2023). Darüber hinaus können diesen Graphen als ein zentraler Knowledge-Graph der Stadt dienen (DING ET AL., 2023).

2.2 Erkennung von Änderungen in CityGML-Graphrepräsentationen

Die CityGML-Datensätze werden anhand ihrer Graphrepräsentationen verglichen. Hierfür kommen verschiedene graphbasierte Algorithmen in Frage, wie beispielsweise Algorithmen zum Lösen des Problems des Graphisomorphismus. Jedoch sind Graph- und Subgraphisomorphismus sehr komplex und nicht für große Graphen geeignet. Daher werden verschiedene Optimierungen und heuristische Maßnahmen ergriffen, die vor allem das Labelling und andere semantische Eigenschaften der Knoten und Kanten nutzen, um die Laufzeit zu beschleunigen. Außerdem werden beim Vergleich von geometrischen Objekten Fehlertoleranzen berücksichtigt, sodass beispielsweise zwei Punkte immer noch als äquivalent eingestuft werden können, wenn sie sich in unmittelbarer Umgebung befinden. Die detektierten Änderungen werden direkt im Graphen gespeichert und mit den entsprechenden Knoten verknüpft, an denen die Änderungen erkannt wurden. Dies erlaubt effizientes Abrufen relevanter Information während des Interpretationsprozesses.

2.3 Interpretation von Erkannten Änderungen aus der Perspektive der Stakeholder

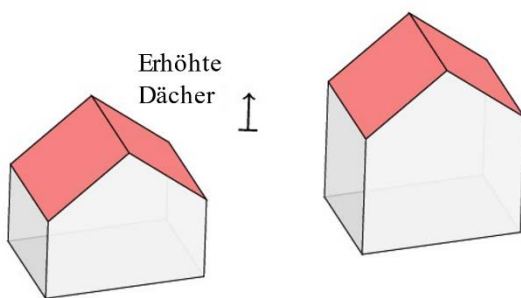


Abb. 3: Beispiel eines Wohnhauses mit erhöhten Dächern, angepasst von (NGUYEN & KOLBE 2022)

Nach dem Vergleich von CityGML-Datensätzen werden oft eine große Anzahl von Änderungen detektiert, die in die Tausende oder sogar Millionen gehen können. Um diese große Menge zu bewältigen und ihnen zugleich mehr semantische Bedeutung zu verleihen, werden Muster in ihnen gesucht. Diese Muster sind Kombinationen von individuellen Änderungen, die isoliert betrachtet wenig Bedeutung haben, aber zusammen wertvolle Informationen liefern können. Zum Beispiel, wenn die Dächer eines Wohnhauses nach oben verschoben wurden, ohne ihre Größe und Form zu ändern, werden auch alle Wände vertikal größer, um die neue, höhere Position der Dächer zu unterstützen. Alle diese Änderungen, die Verschiebung der Dächer und die Vergrößerung der Wände, können durch eine einzige Interpretation repräsentiert werden: Die Dächer wurden nach oben verschoben. Abbildung 2 zeigt ein Wohnhaus mit solchen erhöhten Dächern. Um solche Muster erkennen zu können, werden zuerst vordefinierte Regeln benötigt, die effizient und redundanzfrei die Zusammenhänge zwischen Änderungen beschreiben können. Diese Regeln werden dann vom Interpretierer gelesen, um Muster in allen Änderungen zu finden. Allerdings bewerten verschiedene Stakeholder

Änderungen sehr unterschiedlich. Während ein Oberbürgermeister sich für neugebaute Häuser interessiert, liegt das Interesse eines Datenmanagers in der Verbesserung der Qualität geometrischer Daten sowie deren Repräsentationen. Daher werden die detektierten Muster weiter interpretiert, unter Berücksichtigung der Stakeholder, so dass nur die relevantesten Interpretationen an die richtigen Interessengruppen geliefert werden können.

Literatur

- DING, L. & XIAO, G. & PANO, A. & FUMAGALLI, M. & CHEN, D. & FENG, D. & CALVANESE, D. & FAN, H. & MENG., L. (2023), Integrating 3D City Data through Knowledge Graphs. arXiv.
- KOLBE, T. H. & KUTZNER, T. & SMYTH, C. S. & NAGEL, C. & ROENSDORF, C. & HEAZEL, C. (2021), OGC City Geography Markup Language (CityGML) Version 3.0 Part 1: Conceptual Model Standard. International Standard. Open Geospatial Consortium, Sept. 2021, p. 463.
- NGUYEN, S. H. (2017), Spatio-semantic Comparison of 3D City Models in CityGML using a Graph Database. Masterarbeit. Technische Universität München.
- NGUYEN, S. H. & KOLBE, T. H. (2022), Path-tracing Semantic Networks to Interpret Changes in Semantic 3D City Models. In: Proceedings of the 17th International 3DGeoInfo Conference 2022. Vol. X-4/W2-2022. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. UNSW Sydney.
- OLBRICH, F. S. (2023), Multimodal Navigation Applications for CityGML 3.0 using a Graph Database. Masterarbeit. Technische Universität München.

Web-basierte 4D-Visualisierung dynamischer Daten

Joseph GITAHI and Thomas H. KOLBE

Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstraße 21 · 80333 München, Germany

E-Mail: (joseph.gitahi, thomas.kolbe)@tum.de

1 Einführung

Städte sind komplexe Systeme, die sich durch eine hoch entwickelte Infrastruktur und eine dichte Bevölkerung auszeichnen. Smarte Städte nutzen Technologien, um die Herausforderungen des Managements zu bewältigen, die Bereitstellung von Dienstleistungen zu optimieren, die Lebensqualität zu verbessern und die Zukunftsfähigkeit zu fördern. Eine der entscheidenden Technologien sind die Urbanen Digitalen Zwillinge (UDZ), virtuelle Darstellungen physischer Stadtumgebungen unter Verwendung von 3D-Stadtmodellen zur Darstellung der bebauten Umgebung und Echtzeitdaten von Sensoren des Internet of Things (IoT). Die semantischen 3D-Stadtmodelle müssen mit Echtzeitdaten von IoT-Sensoren oder Simulationsergebnissen aktualisiert werden, um die physische städtische Umgebung genau widerzuspiegeln. Die Integration von 3D-Stadtmodellen und Sensordaten führt außerdem eine vierte zeitliche Dimension für die interaktive Visualisierung von Mustern und Trends ein. Die 4D-Visualisierung der städtischen Dynamik unterstützt verschiedene Anwendungen in unterschiedlichen Bereichen wie Stadtplanung, Infrastrukturmanagement, Mobilität, Energie- und Versorgungsüberwachung und Bürgerbeteiligung. Neben Sensordaten erzeugen Simulationen zeitdynamische Darstellungen städtischer Systeme. Simulationen ermöglichen es Stadtplanern und Entscheidungsträgern, verschiedene Aspekte einer Stadt zu modellieren und zu bewerten, bevor sie Veränderungen in der realen Welt vornehmen. Wenn sie in einem 4D-Kontext visualisiert werden, verstehen Forscher und Stadtplaner, die von den Simulationen erzeugten, Was-wäre-wenn-Szenarien in Anwendungen wie Verkehrsplanung, Umweltmodellierung und Energienutzungsmodellierung.

2 4D-Web-Visualisierung von integrierten 3D-Stadtmodellen und Sensordaten

2.1 Motivation

3D-Geodaten in UDZ können mit Game-Engines wie Unity und Unreal Engine oder mit Webbrowsern visualisiert werden. Im Gegensatz zu Game-Engines benötigen webbasierte 3D-Visualisierungen keine zusätzliche Hardware oder Software und ermöglichen Visualisierungen auf verschiedenen Plattformen, Betriebssystemen und modernen Webbrowsern. Webbasierte Visualisierungen unterstützen auch die nahtlose Integration mit anderen räumlichen und nicht-räumlichen Datensätzen über standardisierte Internetprotokolle. Räumliche Daten von OGC Web Services und IoT-Daten von RESTful API können leicht integriert werden, um 3D-Web-Szenen zu bereichern. Webanwendungen ermöglichen es den Nutzern, in 3D-Webkarten zu navigieren und mit Daten zu interagieren, indem sie vertraute Low-Level-Interaktionsereignisse wie Mausbewegungen, Klicks und Scrollen nutzen. Sie bieten auch visuelle Hilfsmittel, um Informationen sinnvoll und intuitiv zu vermitteln, wie z. B. Diagramme, Beschriftungen, Popups und Grafiken, die den Benutzern helfen, Daten sinnvoll zu nutzen. Die Fortschritte bei der Erfassung von Geodaten, der 3D-Modellierung und der Verbreitung von IoT-Technologien liefern den Städten umfangreiche Datensätze für die Erstellung von UDZ. Es gibt separate Anwendungen für 3D-Webvisualisierungen von Stadtmodellen und Visualisierungstools für von IoT-Sensoren erfasste Zeitreihendaten. Die Kombination dieser beiden Visualisierungswege in UDZ würde ein umfassenderes Verständnis der städtischen Umwelt und ihrer dynamischen Prozesse ermöglichen.

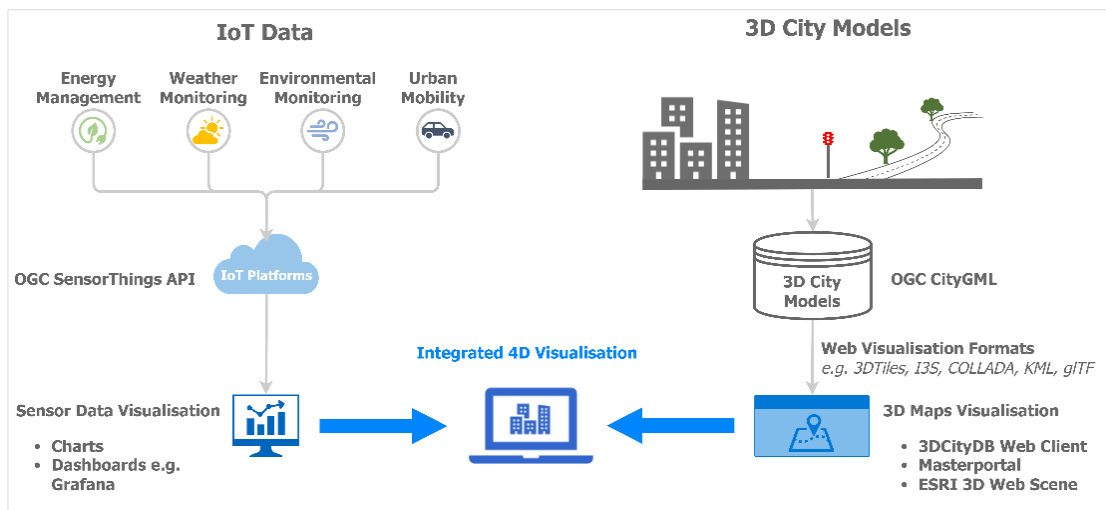


Abb. 1: Die verschiedenen Methoden, die in Städten zur Visualisierung von 3D-Stadtmodellen und Sensordaten verwendet werden.

2.2 Anforderungen an eine effiziente 4D-Webvisualisierung

Derzeit folgen 4D-Webvisualisierungen in UDZ fragmentierten und unterschiedlichen Ansätzen. Es existiert kein Rahmenwerk, das die Visualisierung von integrierten semantischen 3D-Stadtmodellen und zeitlichen Daten in einer verallgemeinerten konzeptionellen Weise ermöglicht. Unsere Forschungsarbeit identifiziert die folgenden Anforderungen als entscheidend für eine effiziente 4D-Web-Visualisierung von dynamischen Daten in UDZ (GITAHY & KOLBE 2024).

2.2.1 Effiziente Darstellung von 4D-Stadtmodellen in Web-Visualisierungen

Bestehende 3D-Webvisualisierungstechniken bieten zwar ein effizientes Streaming massiver heterogener 3D-Modelle unter Verwendung robuster Kachelungs- und Ladestrategien, unterstützen aber nicht die Speicherung und Aktualisierung zeitabhängiger Attribute. Es besteht die Notwendigkeit, die Datenstrukturen der 3D-Webvisualisierungsspezifikationen zu erweitern, um zeitliche Datenintegration und räumlich-zeitliche Kachelungen für eine effiziente Darstellung von 4D-Szenen zu unterstützen.

2.2.2 Semantische 3D-Stadtmodelle und temporale Datenintegration

Digitale Zwillinge sind auf Echtzeitdaten angewiesen, um den Status und das Verhalten ihrer physischen Gegenstände widerzuspiegeln. In UDZ erfordert dies wiederum semantische 3D-Modelle, die mit zeitlichen Datenquellen verknüpft werden, um die zeitabhängigen Eigenschaften zu aktualisieren. Der OGC-Standard CityGML bietet eine standardisierte Methode zur Modellierung von Stadtobjekten und zur Speicherung und zum Austausch semantischer 3D-Stadtmodelle. In Version 3.0 wurde das Dynamizer-Modul eingeführt, um zeitabhängige Eigenschaften von semantischen Modellen mit ihren Datenquellen zu verknüpfen (CHATURVEDI & KOLBE 2015; KOLBE ET AL. 2021; KUTZNER ET AL. 2020). Dies ermöglicht die Modellierung und Visualisierung zeitlicher Veränderungen von dynamischen 3D-Modellattributen. CityGML kann jedoch nicht direkt im Web visualisiert werden, und die 3D-Modelle müssen in Web-Rendering- und Streaming-Formate konvertiert werden. Daher muss ein Rahmen geschaffen werden, um die Datenstrukturen, die semantische 3D-Stadtmodelle und zeitliche Daten verknüpfen, in die bestehenden Techniken für das Streaming und die Visualisierung von räumlichen 3D-Daten im Web zu übertragen.

2.2.3 Harmonisierter Zugang zu temporalen Daten

Die von IoT-Sensoren und aus Simulationen gesammelten zeitlichen Daten sind in Bezug auf Datenformate und Modelle sehr heterogen, was eine große Herausforderung für die Integration darstellt. In UDZ erschwert die Heterogenität die Integration von 3D-Modellen und zeitlichen Daten zusätzlich. Um einen einheitlichen Ansatz zur Integration von 3D-Modellen und zeitlichen Daten zu erreichen, müssen zeitliche Daten standardisiert und harmonisiert werden, indem Standards wie die OGC SensorThings API und FIWARE verwendet werden. Diese Standards bieten standardisierte Datenmodelle, gemeinsame Protokolle und Kommunikationsstandards für eine harmonisierte Verwaltung und den Zugriff auf dynamische Datensätze.

2.2.4 4D Web Karten Design zur Erfüllung von Nutzer- und Anwendungsbedürfnissen

UDZ sind die Schnittstellen, über die Nutzer mit der physischen Umwelt interagieren; daher sollte ihr Design den Informations- und Visualisierungsbedürfnissen der Nutzer entsprechen. Die Informationsvisualisierung muss einen kartografischen orientierten Ansatz folgen und die Grundsätze des Visualisierungsdesigns einhalten, um den Nutzern von

UDTs effektiv zu vermitteln. Obwohl es Grundsätze für die Gestaltung von 3D- und 4D-Karten gibt, gibt es keine etablierten Designstandards, und die derzeitigen Designansätze sind hauptsächlich auf spezifische Anwendungsfälle zugeschnitten. Daher ist ein verallgemeinerter Gestaltungsrahmen erforderlich, um 4D-Webvisualisierungen zu erstellen, die den Anforderungen einer breiten Palette von Anwendungsfällen in UDTs gerecht werden.

2.3 Methodologie und Diskussion

Diese Präsentation gibt einen Überblick über unsere laufende Forschung, die sich auf die Bewältigung der Herausforderungen und die Erfüllung der in Abschnitt 2.2 genannten Anforderungen für eine effiziente 4D-Webvisualisierung dynamischer Daten in UDZ konzentriert. Zunächst demonstrieren wir 3D-Stadtmodelle und temporale Datenintegration mit CityGML 3.0 Dynamizers. Diese Integration stellt explizite Verbindungen zwischen zeitabhängigen Eigenschaften von 3D-Objekten und ihren entsprechenden temporalen Datenquellen her. Anschließend zeigen wir den Prozess der Übertragung der integrierten Datensätze und der zugrundeliegenden Informationen, die die 3D-Stadtmodelle und temporalen Daten mit bestehenden Standarddatenmodellen verbinden, die für räumliches 3D-Web-Streaming und Rendering verwendet werden. Schließlich stellen wir unseren Ansatz zur Vermittlung und Interpretation der integrierten Datenstrukturen in 4D-Web-Viewern zur Visualisierung der temporären Dynamik in städtischen Umgebungen vor. Durch Diskussionen und praktische Demonstrationen zeigt die Präsentation unsere Forschungsbeiträge und bietet Einblicke in die 4D-Webvisualisierung dynamischer Daten im Kontext von UDZ.

Literatur

- CHATURVEDI, K., & KOLBE, T. H. (2015), Dynamizers—Modeling and implementing dynamic properties for semantic 3D city models. *Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation*. <https://doi.org/10.2312/UDMV.20151348>
- GITAH, J., & KOLBE, T. H. (2024), Requirements for Web-Based 4D Visualisation of Integrated 3D City Models and Sensor Data in Urban Digital Twins. In T. H. Kolbe, A. Donaubauer, & C. Beil (Eds.), *Recent Advances in 3D Geoinformation Science* (pp. 707–725). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43699-4_43
- KOLBE, T. H., KUTZNER, T., SMYTH, C. S., NAGEL, C., ROENSDORF, C., & HEAZEL, C. (2021), *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard* (3.0). Open Geospatial Consortium. <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html>
- KUTZNER, T., CHATURVEDI, K., & KOLBE, T. H. (2020), CityGML 3.0: New functions open up new applications. *PGF – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 43–61. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z>

Der Digitale Zwilling der Filstalbrücken

Alex Lazoglu

MKP GmbH · Werftstraße 17 · 30163 Hannover

E-Mail: alex.lazoglu@marxkrontal.com

1 Einführung

Die Bedeutung eines umweltschonenden Erhalts der Verkehrsinfrastruktur nimmt stetig zu. Aktuell basiert das Erhaltungsmanagement auf einer reaktiven Vorgehensweise, bei der Maßnahmen als Folge defizitärer Bauwerkszustände und Tragsicherheitsnachweise initiiert werden. Unplanmäßige Einschränkungen der Infrastrukturverfügbarkeit sowie hohe volkswirtschaftliche Kosten können daraus resultieren. Digitale Zwillinge, die hochwertige Messtechnik, automatisierte Datenanalysen und strukturiertes Datenmanagement kombinieren, ermöglichen eine höhere Genauigkeit und Vorhersagefähigkeit bei der Beurteilung von Zuständen und Sicherheiten. Für die Filstalbrücken der Deutschen Bahn AG existiert seit der Inbetriebnahme im Dezember 2022 ein Digitaler Zwilling. Dieser aggregiert Inspektionsdaten, Tragsicherheitsnachweise und Messdaten kontinuierlich zu einem aktuellen und objektiven Zustandsbild der Brücke.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Die Filstalbrücken der DB Netz AG

Die Filstalbrücken sind zwei parallel verlaufende, eingleisige Eisenbahnüberführungen auf der Strecke Stuttgart-Ulm im Südwesten Deutschlands. Nahezu baugleich, mit durchgehenden Trägern über sechs Felder und Bauwerkslängen von 472 m und 485 m überqueren die beiden Brücken das Filstal in ca. 75 m Höhe und sind damit die dritthöchsten Eisenbahnbrücken Deutschlands. In semiintegraler Bauweise ausgeführt, schließen die außerordentlich schlanken Pfeiler monolithisch an den längsvorgespannten Überbau an. U. a. aufgrund der besonderen Bauweise gelten die Brücken als prestigeträchtig im Eisenbahnbrückenbau. Ausführliche Erläuterungen zu Konstruktionsdetails finden sich in (ZAJDMAN ET AL. 2022).

Abweichungen von im Eisenbahnbrückenbau geregelten Bauweisen und normativen Grundlagen erfordern eine automatische und sensorbasierte Überwachung neuralgischer Bereiche. Zu diesen gehören u. a. die monolithischen Anschlusspunkte der Pfeiler sowie die Längsfesthaltungen der Überbauten aus zwei sich kreuzenden Stahllamellen (Federlamellen). Die Funktionsfähigkeit dieser Bereiche ist relevant für die Standsicherheit der Bauwerke. Führungslager begrenzen die Querverschiebung der Bauwerke bzw. Schienenoberbaus und sind daher maßgebend für die Verkehrssicherheit.

2.2 Messsystem zur Dauerüberwachung

Die Überwachung der neuralgischen Bereiche erfolgt über eine messtechnische Erfassung physikalischer Bauwerksreaktionen und Umgebungsbedingungen mit insgesamt 192 Sensoren. Darunter Dehnmessstreifen, Wegaufnehmer, Schlauchwaagen, Inklinometer, Temperaturfühler und Anemometer. Diese wurden teilweise während der Herstellung am Bauwerk appliziert und messen damit alle entstehenden Bauwerksreaktionen ab Stunde null.

Die aufgezeichneten Messdaten werden automatisch von der Messanlage vor Ort auf eine cloudbasierte Datenbank übertragen und anschließend durch automatisierte Auswerteprozesse zu Informationen verarbeitet. Dazu gehören u. a. Algorithmen zur Umrechnung der elektrischen in physikalische Größen, die Bereinigung von Messfehlern sowie die Umrechnung der physikalischen in die zu bewertende Größe (z. B. Schnittgröße). Angeknüpft an die Auswertung erfolgt eine automatisierte Datenbewertung durch Gegenüberstellung von Schwellenwerten.

Bei einer Schwellenwertüberschreitung werden die entsprechenden Stakeholder nach einer Plausibilitätsprüfung sofort benachrichtigt. Die Verantwortlichen leiten vordefinierte Gegenmaßnahmen für die entsprechenden Überwachungsbereiche ein. So kann bspw. der Verschleiß der Führungslager frühzeitig erkannt und eine Instandsetzungsplanung mit ausreichend Vorlaufzeit eingeleitet werden.

2.3 Der Digitale Zwilling

Der BIM-Masterplan Bundesfernstraßen (BMVI, 2021) visioniert das Zukunftsbild des Erhaltens und Betriebens auf Basis Digitaler Zwillinge. Nachdem sich der Einsatz von BIM im Planen und Bauen etabliert hat, sollen ab ca. 2025 durch die Entwicklung von Testfeldern Digitale Zwillinge entwickelt, erprobt und aus dem Erfahrungsschatz ein Masterplan zum Aufbau und Betrieb Digitaler Zwillinge abgeleitet werden (BMVI 2021). Im Bauwesen gibt es derzeit trotz der voranschreitenden Digitalisierung und Einführung von BIM noch keine einheitlichen Standards für die Begrifflichkeiten

und Definitionen Digitaler Zwillinge. Auch für die Verknüpfung mit BIM und die Nutzung im Erhaltungsmanagement sind bislang keine einheitlichen Standards definiert.

Für die meisten Anwendungsfälle im Bauwesen ist eine exakte Abbildung des physischen Objektes mit all seinen Informationen nicht erforderlich. So beschränkt sich bspw. der Einsatz von Sensoren zur Informationsgewinnung im Bauwesen aktuell v. a. anlassbezogen auf neuralgische Bereiche und spezifische Schadens- bzw. Versagensmechanismen eines Objekts und seiner Umgebung. In (NIEBOROWSKI ET AL. 2023) wurden erste Anwendungsfälle des Digitalen Zwillings erarbeitet.

Das Ziel bei der Konzeption des Digitalen Zwillings für die Filstalbrücken war es gemeinsam mit Brückenprüfern und Statikern, ein digitales Abbild der Brücken zu entwickeln, das sich in das Bewertungskonzept des aktuellen Erhaltungsmanagements der Deutschen Bahn AG integrieren lässt und Informationen nachhaltig und intuitiv konsumierbar bereitstellt. Die Basis bildete das Projekt smartBRIDGE Hamburg (WENNER ET AL. 2021).

Als Grundlage zur Informationsverortung und Visualisierung des Digitalen Zwillings dient das BIM-Bauwerksmodell, das bereits in der Planungs- und Herstellungsphase der Filstalbrücken verwendet wurde. Zusätzlich zum Bauwerksmodell werden alle im Digitalen Zwilling enthaltenen geometrischen Informationen, u. a. Sensoren vereinfacht modelliert.

Aufgrund der hohen Aktualisierungsrate einiger Informationen, insbesondere der des Monitorings, ist das BIM-Modell als alleinige Datengrundlage für den Digitalen Zwilling nicht geeignet. Durch den Aufbau einer zusätzlichen Datenbank wird ein Linked-Data Ansatz verfolgt. Dynamisch generierte Informationen wie bspw. die ausgewerteten Daten aus der messtechnischen Überwachung der Führungslager werden in die Datenbank gespeichert und über das BIM-Modell geometrisch an den Bauwerken verortet.

Der Digitale Zwilling stellt relevante Daten der Filstalbrücken auf einer benutzerfreundlichen Plattform „Condition Control“ in aggregierter Form bereit. Diese Plattform ermöglicht Betreibern, einschließlich Anlagen- und Fachverantwortlichen, stets einen umfassenden und aktuellen Überblick über den Zustand und die Sicherheit der Bauwerke. Zukünftig anfallende Daten aus verschiedenen Quellen können mithilfe einer nachhaltigen Struktur in die Datenbank des Digitalen Zwillings integriert werden. Die Aggregationslogik reduziert dabei die Informationen auf wesentliche Parameter, aus denen unmittelbar Handlungsbedarfe abgeleitet werden können.

Einen detaillierteren Einblick in das Konzept des Digitalen Zwillings der Filstalbrücken gibt (LAZOGLU ET AL. 2023).

Die Definition von normativen Standards bildet die Grundlage für den zukünftigen Aufbau und Betrieb Digitaler Zwillinge sowie die nahtlose Integration von Daten aus unterschiedlichen Quellen. Diese Standardisierung ist entscheidend, um die Vorteile eines Digitalen Zwillings voll auszuschöpfen und eine effektive Unterstützung für den Betrieb der Infrastruktur sicherzustellen. Die Standardisierung erfordert eine systematische Zusammenstellung von Ideen und die Implementierung zahlreicher Digitaler Zwillinge, die sorgfältig im Rahmen von Pilotprojekten evaluiert werden müssen. Der Digitale Zwilling der Filstalbrücken leistet einen wichtigen Beitrag zu diesem Prozess.



Abb. 1: Datenbereitstellung des Digitalen Zwillings über die Web-Plattform „Condition Control“ (Beispieldaten)

Literatur

- Z Aidman, I., Schumm, M., Kotz, P. & Steigerwald, T. (2022), Außergewöhnliche Eisenbahnbrücke über das Filstal – Entwurf, Planung und Ausführung des neuen Wahrzeichens von Baden-Württemberg. Bautechnik 99, H. 4, S. 262–271.
- BMVI (2021), Masterplan BIM Bundesfernstraßen. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Nieborowski, S.; Windmann, S.; Bednorz, J.; Hinder smann, I. & Zinke, T. (2023), Digitaler Zwilling Brücke im Betrieb. Bautechnik 100, H. 2, S. 86–93.
- Wenner et al. (2021), The Concept of Digital Twin to Revolutionise Infrastructure Maintenance: the Pilot Project smartBRIDGE Hamburg. 27th ITS World Congress, Hamburg, 11–15 October 2021, pp. 1–12.
- Laçoğlu, A., Naraniecki H., Zaidman, I. & Marx, S. (2023), A monitoring based digital twin for the Filstal bridges, IALCCE - 8th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, July 2023, pp. 205-212

Urban Data Platform Hamburg: Wissenswertes zu Aufbau und Betrieb der Sensordateninfrastruktur

Dr. Pierre GRAS, Dr. Michael FISCHER, Sonja LÖWA, Stefan SCHUHART

Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg · Neuenfelder Str. 19 · 21109 Hamburg

E-Mail: pierre.gras@gv.hamburg.de

1 Einführung ins Thema

Die *Freie und Hansestadt Hamburg* (FHH) baut auf Basis einer etablierten Geodateninfrastruktur seit 2017 die *Urban Data Plattform Hamburg* (UDP_HH, www.urbandataplatform.hamburg) aus. Die UDP_HH ist daher in der Hamburger Digitalstrategie als technologische *Datendrehscheibe* für die gesamte Stadt benannt (HAMBURG 2020). Es wird ausdrücklich ein dezentraler Ansatz verfolgt: Ziel ist die standardisierte technische Verknüpfung der vielfältigen dezentralen IT-Systeme und Datenbanken der Stadt als *System der Systeme*. Die UDP_HH spricht dabei als Nutzergruppen die öffentliche Verwaltung, die Zivilgesellschaft sowie Wissenschaft und Wirtschaft an.

Die steigende Digitalisierung und Vernetzung in Hamburg führen zu einem Anstieg an Daten aus verschiedenen Quellen. Echtzeitverarbeitung von Sensordaten aus dem Internet der Dinge (IoT) spielen dabei eine Schlüsselrolle, da sie neue Anwendungen in Bereichen wie vernetzter Verkehrssteuerung, Smart City, Umweltmonitoring und Gebäudemanagement ermöglichen. Um diese Herausforderung zu bewältigen, wurde eine neue Komponente zur latenzarmen Verarbeitung von Daten in Echtzeit in die UDP_HH integriert. Derzeit kann die Sensordateninfrastruktur mehr als 90.000.000 Datenpunkte pro Tag und bis zu 10.000 pro Sekunde verarbeiten. Den Kern zur Bereitstellung von Sensordaten bildet dabei die offene und standardisierte SensorThings-API des Open Geospatial Consortium (OGC). Diese API adressiert zentrale Anforderungen an eine moderne Sensordateninfrastruktur wie die effiziente und zuverlässige Datenbereitstellung in Echtzeit, skalierbaren und robusten Betrieb auf Basis von Open-Source-Komponenten sowie die effektive Kombination von REST und MQTT-Endpunkten zur eventbasierten Bereitstellung von relevanten Daten in kleinen Datenpaketen.

Der vorliegende Beitrag bietet einen Überblick über die Sensordateninfrastruktur der UDP_HH und ihrer technischen Eigenschaften zur Bereitstellung von (Geo-)Daten in Echtzeit. Es wird auf die Entstehung, das aktuelle Betriebsmodell und Anwendungsbeispiele eingegangen, um die Relevanz einer solchen Plattform für die Zukunft einer Smart City zu beleuchten.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Die Entstehung der Sensordateninfrastruktur

Mit dem Ausblick auf den ITS World Congress 2021 in Hamburg, den angegliederten Projekten und den im Rahmen von HORIZON geförderten Smart City Projekten (z.B. mySMARTLife 2016-2022) der EU rückten die Themen Echtzeit und Sensordaten in den Fokus der FHH. Die Verarbeitung und das Management von (Geo-)Daten in Echtzeit waren entscheidend für die erfolgreiche Durchführung dieser Projekte. Durch den Einsatz agiler Entwicklungsmethoden wurde die Infrastruktur mit Unterstützung des Fraunhofer Instituts IOSB, Microsoft und Dataport unter der Leitung des Landesbetriebs Geoinformation und Vermessung Hamburg von einem PoC zu einer skalierbaren, ausfallsicheren und leistungsstarken Infrastruktur entwickelt. Technologien wie Container, Docker, Kubernetes, automatisch skalierende IT-Infrastrukturen und die event-basierte Bereitstellung von (Geo-)Daten in Echtzeit wurden erstmals in diesen Projekten eingeführt. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung im Rahmen der Digital Strategie Hamburg ist die Sensordateninfrastruktur als Teil der Urban Data Platform fest etabliert.

2.2 Betrieb, Weiterentwicklung und Nutzen der Sensordateninfrastruktur

Aktuell wird die Infrastruktur über die dpublic Cloud (Azure) von Dataport unter Nutzung von Azure Kubernetes Service bereitgestellt. Die Produktivumgebung wird dabei von Dataport verwaltet, während die Entwicklung beim Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung liegt. Zentraler Bestandteil der Infrastruktur ist die Verwendung der Open Source Software FROST Server des Fraunhofer Instituts (IOSB). Weitere Bestandteile sind z.B. NGINX, Keycloak, Portainer, Grafana, Prometheus, Loki und eine Postgres (PostGIS) Datenbank in einem hochverfügbaren Cluster. Die Infrastruktur wird automatisch horizontal (HPA) und vertikal (VMs) skaliert. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten ist der schematischen Darstellung zu entnehmen (Abb. 1). Während der Entwicklung war das Data Engineering eine der größten Herausforderungen. Es galt, eine hochfrequente und zuverlässige Datenverarbeitung sicherzustellen. Die Verarbeitung von bis zu 10.000 Beobachtungspunkten pro Sekunde wurde durch den Einsatz asynchroner Programmierung realisiert. Zusätzlich erfolgte die Integration des ETL-Prozesses in den Kubernetes Cluster,

um eine hohe Performance und Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Dies ist beispielsweise für die Übertragung von Ampel­daten von eminenter Bedeutung. Auf Datenbankebene wurde durch Tabellenpartitionierung der Postgres Datenbank die Möglichkeit geschaffen, Ampel­daten für 7 Tage zu historisieren. Der Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg verfolgt hierbei den Ansatz "public money – public code". Daher wurde, neben anderen Entwicklungen, wie dem *Masterportal* (www.masterportal.org) für die Visualisierung von Geodaten inklusive Sensordaten via MQTT, die Sensordateninfrastruktur als Helm Chart über Open CoDE zur Verfügung gestellt (LGV 2024).

Dank der offenen Bereitstellung von (Geo-)Daten in Echtzeit können innovative Anwendungen unterschiedlichster Art niederschwellig von jedem interessierten entwickelt werden (HAMBURG 2012). Im Projekt PrioBike werden zum Beispiel die Hamburger Ampel­daten (<https://metaver.de/trefferanzeige?docuuiid=AB32CF78-389A-4579-9C5E-867EF31CA225>) genutzt, um Prognosen für Signalphasen für Radfahrer über eine App zur Verfügung zu stellen. Die App gibt den Nutzenden eine Geschwindigkeitsempfehlung, um das Warten bei Rot zu vermeiden. Ziel ist die Beschleunigung des Radverkehrs und eine Reduzierung der Wartezeiten. Die Sensordaten der UDP_HH werden aber auch in multimodalen Mobilitätssimulationen verwendet, um digitale urbane Zwillinge zu entwickeln, die z.B. in Entscheidungsunterstützungssystemen eingesetzt werden können. Somit kann festgehalten werden, dass die Sensordateninfrastruktur der Urban Data Platform Hamburg eine wichtige Säule in der Entwicklung und Nutzung von Urbanen Digitalen Zwillingen darstellt.

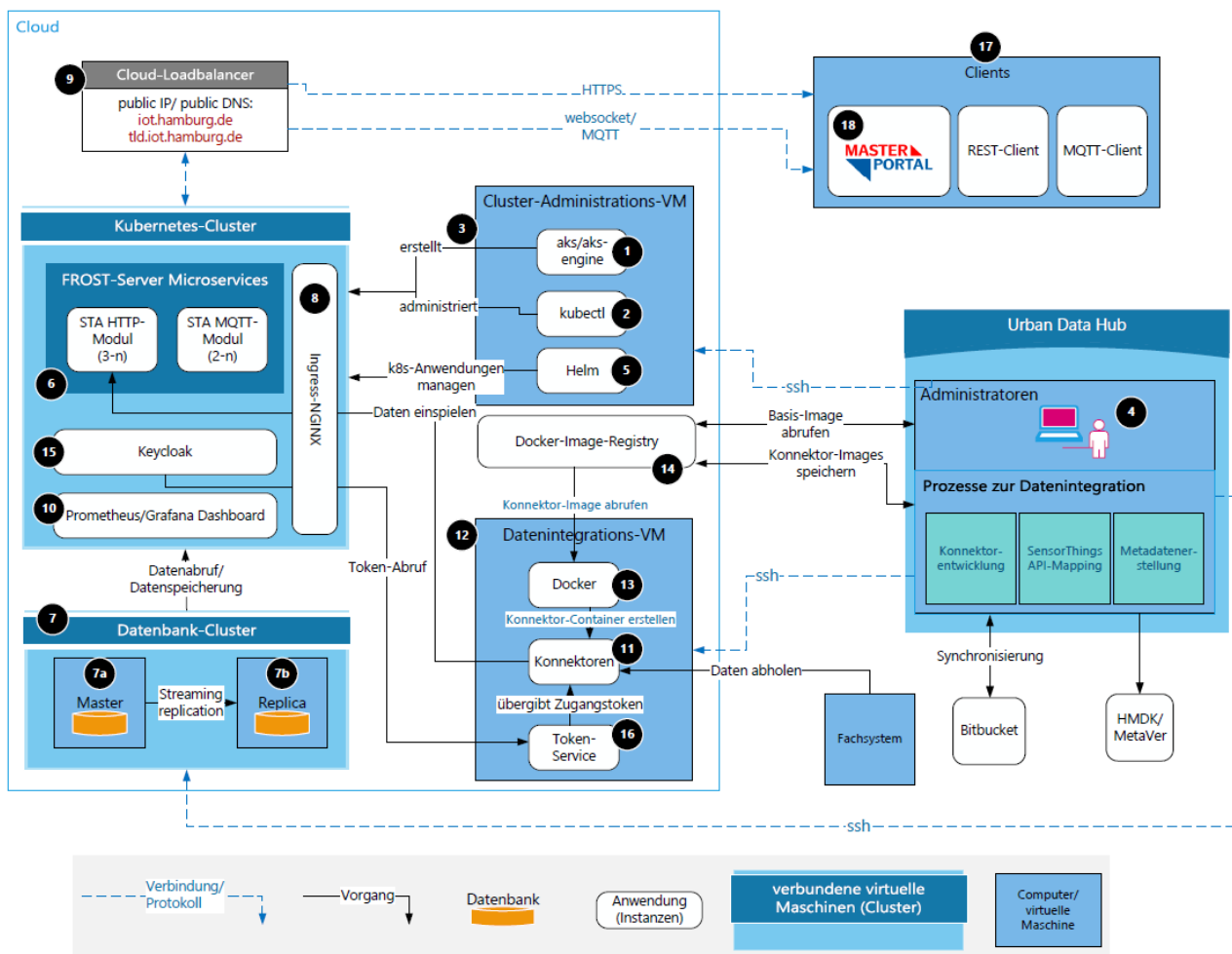


Abb. 1: Schematische Darstellung der Sensordateninfrastruktur der Urban Data Platform Hamburg (Auszug aus FISCHER ET AL. 2021)

Literatur

FISCHER, M., GRAS, P., LÖWA, S., SCHUHART, S. (2021), Urban Data Platform Hamburg: Integration von Echtzeit IoT-Daten mittels SensorThings API. Zeitschrift für Vermessungswesen, 146(1), 41-48.

- HAMBURG (2012): Hamburgisches Transparenzgesetz (HmbTG). Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt, 2012: 271.
- HAMBURG (2020): Digitalstrategie Hamburg. Strategiepapier, Hamburg:
Freie und Hanse Stadt Hamburg Senatskanzlei – Amt für IT und Digitalisierung, Drucksache Nr. 21/19800 (auszugsweise, 2. überarbeitete Aufl.).
- HERTWECK, P., HELLMUND, T., VAN DER SCHAAF, H., MOßGRABER, J, BLUME, J.-W. (2019): Management of Sensor Data with Open Standards. 16th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, ISCRAM 2019. Conference proceedings. Valencia (Spain). 1126–1139.
- LGV (2024): Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg, Zugriff am 23.02.2024, <https://gitlab.opencode.de/lgvhh/udp/hh-udp-iot>.

Von natürlichen Sprachen zu SQL

Maximilian Emanuel SCHÜLE

Universität Bamberg

E-Mail: maximilian.schuele@uni-bamberg.de

1 Einführung ins Thema

SQL als deklarative Sprache gibt an, welche Daten gesucht werden, und nicht, wie die Daten verarbeitet werden. Natürliche Sprachen sind weitgefasser und nicht immer eindeutig. Verschiedene gelernte Modelle versuchen, natürliche Sprachen in SQL zu übersetzen.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

Der Vortrag beleuchtet aktuelle Publikationen zum Thema natürliche Sprachen zu SQL. Anschließend wird eine Schnittstelle von DuckDB vorgestellt, um natürlichsprachigen Inhalt in SQL zu übersetzen. Abschließend zeigt der Vortrag Anwendungsfälle auf, um mit SQL maschinelles Lernen durchzuführen.

Literatur

- FÜRST, J. et al. (2024), Evaluating the Data Model Robustness of Text-to-SQL Systems Based on Real User Queries. In CoRR.
- FLORATOU, A. et al. (2024), NL2SQL is a solved problem... Not!. In CIDR.
- KAUSHIK, R. et al. (2024), Welding Natural Language Queries to Analytics IRs with LLMs. In CIDR.
- SCHÜLE, M. (2023), NN2SQL: Let SQL think for neural networks. In BTW, volume P-331 of LNI.
- SCHÜLE, M. (2023), Blue elephants inspecting pandas: Inspection and execution of machine learning pipelines in SQL. In EDBT.
- SCHÜLE, M. (2022), Recursive SQL and gpu-support for in-database machine learning. In Distributed Parallel Databases.
- SCHÜLE, M. (2021) In-database machine learning with SQL on gpus. In SSDBM.
- TRUMMER, I. (2022), CodexDB: Generating Code for Processing SQL Queries using GPT-3 Codex. In CoRR.
- TRUMMER, I. (2022), Demonstrating GPT-DB: Generating Query-Specific and Customizable Code for SQL Processing with GPT-4. In VLDB.

Künstliche Intelligenz und Generative Methoden in der Kartographie

Dirk BURGHARDT

Institut für Kartographie · TU Dresden · Helmholtzstr. 10 · 01062 Dresden
E-Mail: dirk.burghardt@tu-dresden.de

1 Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz in der Kartographie

Mit der Veröffentlichung von ChatGPT Ende 2022 wurde eine neue Phase der Nutzung künstlicher Intelligenz eingeleitet, welche Einfluss nicht nur auf die Forschung hat, sondern nahezu alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens. Vielversprechende Forschungsansätze zur Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) in der Kartographie wurden für die verschiedenen Aufgaben im Prozess der Kartenerstellung entwickelt, etwa für die Erfassung und Vektorisierung von Geodaten (Chenjing et al. 2024), die automatische Generalisierung (Feng et al. 2019, Karsznia et al. 2023), das Kartendesign (Kang et al. 2023, 2024), die Schriftplatzierung (Li et al. 2020) sowie die Ableitung von Geländedarstellungen (Jenny et al. 2021). Generative Künstliche Intelligenz als Teilgebiet umfasst Methoden des maschinellen Lernens, welche auf Basis von Texten, Bildern, Audio- und Videodateien in der Lage sind neue Inhalte zu generieren.

Die Forschung zur Nutzung von generativen Methoden für die Visualisierung und Kartenerzeugung befindet sich noch in einer sehr frühen Phase. Schetinger et al. (2023) beschreiben Potentiale der Nutzung generativer Text-zu-Bild-Methoden für die verschiedenen Phasen der Visualisierung beginnend mit 1) der Identifizierung relevanter Daten, 2) der Umwandlung von Daten in visualisierte Formate, 3) der Visualisierung und Diagrammpfehlung und 4) der Interaktion und Personalisierung visueller Designs. Erste Experimente zur Kartenerstellung unter Nutzung eines Textprompts wurden von Kang et al. (2023) mit DALL-E 2 durchgeführt. Dabei kamen Prompteingaben der folgenden Struktur zum Einsatz: „A {MapType} of {Region} on {Place} with {Description}“. Beim Vergleich von manuell und AI-generierten Karten wurden vier potentielle Fehlerkategorien identifiziert: Ungenauigkeiten, irreführende Informationen, unerwartete Merkmale und Nichtreproduzierbarkeit. Beobachtete Ungenauigkeiten können auf unklare Grenzlinien, inkonsistente Ortsformen und abgeschnittene Inhalte zurückzuführen sein. Die KI-generierte Labels imitieren Schrift lediglich und besitzen keine semantische Bedeutung. Des Weiteren konnten die KI-generierten Karten bei gleichem Schlüsselwortsatz nicht reproduziert werden, da DALL-E 2 mit zufälligen Seed-Elementen arbeitet. Zhang et al. (2024) präsentieren einen „MapGPT-Prototypen“, der Spracheingaben anstelle von Interaktionen nutzt, um den Kartenherstellungsprozess zu steuern. Im Hintergrund werden dabei 59 Kartenmodule für verschiedene Aufgaben der Kartenherstellung eingesetzt. Für die Erzeugung von Positionssignaturen wurde DALL-E 3 genutzt, welches verschiedene Icon-Varianten generiert, die dem Nutzer zur Auswahl vorgeschlagen werden.

Im folgenden Abschnitt werden zwei Methoden zur Erzeugung von bildhaften Positionssignaturen unter Nutzung von KI-Techniken vorgestellt. Neural Style Transfer wird eingesetzt für die Übertragung von graphischen Stilen eines Input-Bildes auf die Positionssignaturen. Im zweiten Beispiel werden textuelle Eingaben aus geosozialen Medien genutzt, um bildhafte Kartensignaturen unter Verwendung des Text-zu-Bild-Generators „Stable Diffusion“ zu erzeugen.

2 Generative Methoden und Neural Style Transfer für Erzeugung von bildhaften Positionssignaturen

2.1 Übertragung von visuellen Stilen mittels Neural Style Transfer

Erste Ansätze in der Kartographie versuchen Neural Style Transfer (NST) für die Übertragung von graphischen Bildstilen auf Kartendarstellungen zu nutzen. BOGUCA und MENG (2019) experimentierten mit NST zur Transformation emotionaler Bilddarstellung auf eine topographische Basiskarte von Berlin. CHRISTOPHE ET AL. (2022) nutzten NST um historische Kartenstile (Karten von Cassini, 18. Jh. und Etat-Major, 19. Jh.) auf Orthophotos zu übertragen.

In eigene Forschungsarbeiten von Techt (2020) wird NST verwendet, um Photos von Sehenswürdigkeiten und Landmarken in einem künstlerischen Stil zu illustrieren und daraus bildhafte Positionssignaturen abzuleiten. Grundlage bildet die TensorFlow Implementierung⁵ von NST. Abbildung 1a) zeigt die Frauenkirche im Stile eines Ölgemäldes, welches durch Bildverarbeitungsfilter erzeugt wurde. Abb. 1b) präsentiert die Ergebnisse der Stilübertragung mittels NST auf Photos von weiteren Sehenswürdigkeiten und Abb. 1c) zeigt die Platzierung der Positionssignaturen auf einer topographischen Basiskarte. Während die Ableitung von einzelnen Positionssignaturen mittels NST vielversprechende Ergebnisse liefert,

⁵ https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/style_transfer

ist die Stilübertragung auf eine gesamte Karte mit geometrischen Verzerrungen und topologischen Fehlern verbunden, sowie der Erzeugung von nicht sinnvoll lesbaren „Pseudo“-Toponymen und insofern Gegenstand zukünftiger Forschung.



Abb.1 : Übertragung des graphischen Stils eines Ölgemäldes (links) mittels Neural Style Transfer auf Photos von Landmarken (Mitte) und anschließender Erzeugung von Positionssignaturen für bildhafte Kartendarstellung (rechts) (TECHT, 2020).

2.2 Generative KI für die Erzeugung bildhafter Positionssignaturen

Die Entwicklung von Modellen und Technologien im Bereich Generativer KI vollzieht sich sehr dynamisch. Mit Stable Diffusion⁶ steht ein open-source Text-zu-Bild-Generator zur Verfügung, welcher auf einem Latent Diffusion Model basiert und im Vergleich zu alternativen Ansätzen wie Generative Adversarial Networks oder pixelbasierten Diffusion Modells eine sehr hohe Bildvielfalt und Bildqualität bei reduzierteren Rechenaufwand erzielt.

Der Workflow zur Erstellung von bildhaften Positionssignaturen für Darstellung in piktorialen Karten, kann in drei Stufen realisiert werden. Im ersten Schritt werden textuelle Input-Daten aus öffentlichen API’s von geosozialen Medien gewonnen. Dabei erfolgt ein räumliches und thematisches Clustering zur Erfassung der am häufigsten verwendeten Begriffe. Im zweiten Schritt findet die Prompt-Formulierung zur Erzeugung der Icons statt. Hierzu wurde folgendes Prompt-Template verwendet: (a picture of {element}), (simple outline: 1.3), (masterpiece), high quality, ..., wobei {element} für den textuellen Input steht. Neben dem beschriebenen positiven Prompt kann auch ein negativer Prompt angegeben werden, der zum Ziel hat unerwünschte Bildeigenschaften bzw. -elemente zu unterdrücken. Für die Erzeugung der Icons relevant sind die Parametereinstellungen des Basis-Modells sowie darauf aufbauende Low-Rank Adaption (LoRA) Modelle zur spezifischen Stilanpassung (z.B. „Niji - Minimal Vector Style“, siehe Abb. 2). Im dritten Schritt muss der Hintergrund des Icons automatisch entfernt werden (z.B. mittels Rembg⁷), sowie die Skalierung und Platzierung als Positionssignatur in der Basiskarte erfolgen.

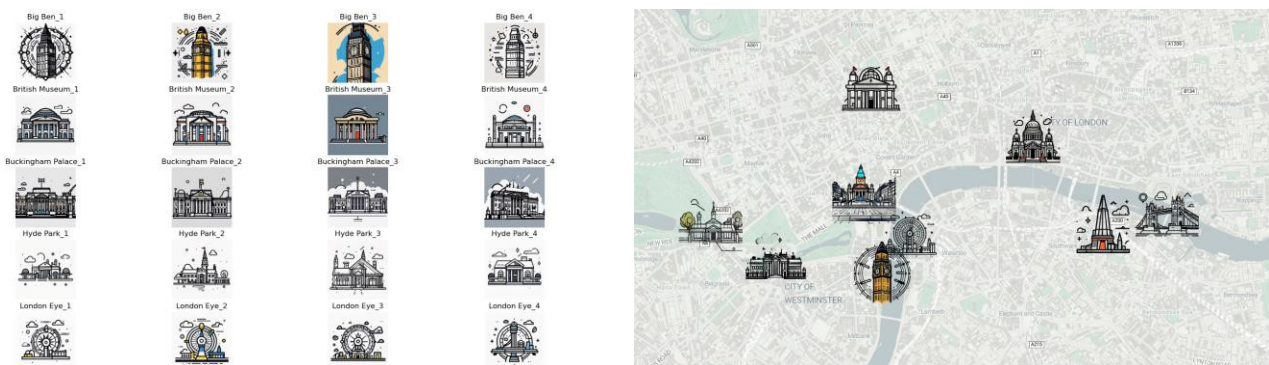


Abb. 2: Iconvarianten für Londoner Sehenswürdigkeiten erzeugt mit „Niji - Minimal Vector Style“ (links) und abgeleitete piktoriale Kartendarstellung (rechts) (STÜLLEIN, 2024).

Diese ersten Versuche zeigen, dass Stable Diffusion zur Erzeugung bildhafter Positionssignaturen geeignet ist. Gleichwohl wird eine starke Abhängigkeit von den verwendeten Modellen und vielfältiger Parametereinstellungen deutlich, so dass

⁶ <https://stability.ai/news/stable-diffusion-public-release>

⁷ <https://github.com/danielgatis/rembg>

hier ein trainieren eigener Modelle (LORAs) zur Umsetzung spezifischer graphischer Stile als Aufgabe für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in der Kartographie bleibt.

Literatur

- BOGUCA, E. P. & MENG, L. (2019), Projecting emotions from artworks to maps using neural style transfer. *Proceedings of the ICA*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.5194/ica-proc-2-9-2019>
- CHENJING, J., HEITZLER, M. & HURNI, L. (2024), A novel framework for road vectorization and classification from historical maps based on deep learning and symbol painting. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 108, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2023.102060>
- CHRISTOPHE, S., MERMET, S., LAURENT, M., & TOUYA, G. (2022), Neural map style transfer exploration with GANs. *International Journal of Cartography*, 8(1), 18–36. <https://doi.org/10.1080/23729333.2022.2031554>
- DUNKEL, A., BURGHARDT, D. & GUGULICA, M. (2024), Generative Text-to-Image Diffusion for Automated Map Production Based on Geosocial Media Data. *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s42489-024-00159-9>
- FENG, Y., THIEMANN, F. & SESTER, M. (2019), Learning Cartographic Building Generalization with Deep Convolutional Neural Networks, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8, 258. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060258>
- JENNY, B., HEITZLER, M., SINGH, D., FARMAKIS-SEREBRYAKOVA, M., LIU, J. C. & HURNI, L. (2021), Cartographic Relief Shading with Neural Networks, in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, no. 2, pp. 1225–1235, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9222263>
- KANG, Y., GAO, S., & ROTH, R. (2024), Artificial intelligence studies in cartography: a review and synthesis of methods, applications, and ethics, *Cartography and Geographic Information Science*, <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2295943>
- KANG, Y., ZHANG, Q. & ROTH, R. (2023), The Ethics of AI-Generated Maps: A Study of DALLÉ 2 and Implications for Cartography <https://arxiv.org/abs/2304.10743>
- KARSZNIA, I., ADOLF, A., LEYK, S. & WEIBEL, R. (2023), Using machine learning and data enrichment in the selection of roads for small-scale maps, *Cartography and Geographic Information Science*, <https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2283075>
- LI, Y., SAKAMOTO, M., SHINOHARA, T., & SATOH, T. (2020), Automatic label placement of area-features using deep learning, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B4-2020, 117–122, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-117-2020>
- TECHT, R. (2020), Entwicklung eines semi-automatischen Workflows zur Ableitung ikonographischer Kartenzeichen. Masterarbeit Institut für Kartographie, TU Dresden.
- SCHETINGER, V., BARTOLOMEO, S. D., EL-ASSADY, M., MCNUTT, A., MILLER, M., PASSOS, J. P. A., & ADAMS, J. L. (2023), Doom or Deliciousness. Challenges and Opportunities for Visualization in the Age of Generative Models. <https://doi.org/10.31219/osf.io/3jrcm>
- STÜLLEIN, M. (2024), Generative KI für die Kartenerstellung unter Verwendung von Deep-Learning-Text-zu-Bild-Generatoren. Masterarbeit Institut für Kartographie, TU Dresden.
- ZHANG, Y., HE, Z., LI, J., LIN, J., GUAN, Q. & YU, W. (submitted), MapGPT: An Autonomous Framework for Mapping by Integrating Large Language Model and Cartographic Tools. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24858.62407>

Natürliche Sprache trifft auf 3D: Eine neue Schnittstelle für die geoinformatische Erkundung

Simon KLENK und Lukas KOSTLER

SE3 Labs GmbH · Lichtenbergstraße 6 · 85748 Garching b. München

E-Mail: simon@se3.ai, lukas@se3.ai

1 Demokratisierung von Geoinformationen mit SpatialGPT

Geoinformationen bilden eine entscheidende Datengrundlage für Bereiche wie Stadtplanung, Umweltforschung, Katastrophenschutz, Immobilienmanagement, Versicherungen und Verkehrsplanung. Üblicherweise werden Geoinformationssysteme (GIS) von Experten eingesetzt, um Geoinformationen auszuwerten. Dies schränkt den Zugang zu Geoinformationen erheblich ein und verlangsamt die Auswertung. Ein weiteres Problem in bestehenden Prozessen ist, dass neue Informationen, speziell aus Bilddaten, oft aufwändig manuell extrahiert werden, was die Kosten und den Zeitaufwand für das Einbinden neuer Datensätze beträchtlich erhöht. Unser Produkt SpatialGPT löst beide Probleme: Einerseits ermöglichen wir durch den Einsatz von generativen Sprachmodellen wie GPT einen intuitiven Zugang zu Geodaten mittels natürlicher Sprache. Andererseits setzen wir neuartige ‘foundation models’ für die automatische Objekterkennung und Lokalisierung in 3D ein, um so wertvolle Informationen, die in Bilddaten stecken, schnell und kostengünstig in die Analyse einzubringen.

Die Integration von Geodaten und bildbasierter Objekterkennung mit multimodalen Sprachmodellen bietet eine innovative Schnittstelle, welche die Interaktion mit komplexen geoinformatischen Daten revolutioniert. Dieser Beitrag stellt ein bahnbrechendes System vor, das es ermöglicht, durch natürliche Spracheingabe geoinformatische Anfragen zu formulieren und komplexe Datenanalysen durchzuführen, ohne tiefgreifende Programmierkenntnisse oder spezialisiertes Wissen im Umgang mit GIS-Software zu erfordern. Auch in der wissenschaftlichen Fachliteratur gibt es bereits einige Arbeiten, welche die Kopplung von Sprachmodellen und Geodaten untersuchen (ZHANG ET AL. 2023). Die zentrale Innovation unserer Arbeit liegt in der Demokratisierung des Zugangs zu geoinformatischen Daten in der Praxis sowie in der zusätzlichen Einbindung von Bilddaten. Wir fokussieren uns auf 3D-Stadtmodellen, welche im Kontext der ‘Smart City’ für Stadtplanung, Verkehrsplanung sowie versicherungstechnische Fragestellungen verwendet werden. Außerdem werden diese Stadtmodelle in der Bürgerbeteiligung eingesetzt, womit es Bürgern zum Beispiel ermöglicht wird, per natürlichsprachlicher Anfrage Details über ein geplantes Bauprojekt zu erfragen und in 3D zu betrachten. Anwender können Informationen abfragen, Analysen durchführen und datengetriebene Entscheidungen treffen, indem sie einfache, in natürlicher Sprache formulierte Anfragen stellen. Diese Technologie bietet nicht nur eine Vereinfachung bestehender Prozesse, sondern eröffnet auch neue Perspektiven für die Stadtplanung, Umweltüberwachung und das Management städtischer Infrastrukturen.

2 SpatialGPT für Smart Cities

2.1 SpatialGPT in der Stadtverwaltung

Die Integration von SpatialGPT in die Stadtverwaltung steigert die Effizienz und bietet umfassende Einblicke für alle Abteilungen und Hierarchieebenen. Wir ermöglichen eine schnelle Reaktion auf komplexe Anfragen, wie beispielsweise die Erfassung und Analyse von Verkehrsschildern zwischen dem Stadtpark und dem Hauptbahnhof. Dank SpatialGPT werden Details städtischer Infrastrukturelemente, wie Verkehrsschilder, präzise erfasst (siehe Abb. 1). Darüber hinaus können Sicherheitsvorschriften oder gesetzliche Vorschriften überprüft werden. Die Ergebnisse solcher Anfragen sind über 3D-Karten und PDF-Berichte leicht zugänglich, was die Kapazität des Systems verdeutlicht, städtische Verwaltungs- und Entscheidungsprozesse signifikant zu verbessern.



Abb. 1: Spatial GPT beantwortet natürlichsprachliche Anfragen in städtischen Umgebungen mittels bildbasierter KI und Geodaten-Auswertung. Städtisches Inventar wie Straßenschilder werden automatisch erkannt und klassifiziert.

2.2 SpatialGPT in der Bürgerbeteiligung

Der Einsatz von SpatialGPT fördert die Bürgerbeteiligung, indem es intuitiven Zugang zu sämtlichen städtischen Daten bietet, was zu inklusiven Gemeinschaften und verstärktem bürgerschaftlichem Engagement führt. Durch die Fähigkeit, präzise und benutzerfreundliche Antworten auf spezifische Anfragen zu liefern – wie beispielsweise die Suche nach einem barrierefreien Fahrstuhl in der Nähe eines Behindertenparkplatzes für den Zugang zur U-Bahn – erleichtert SpatialGPT den Alltag von Menschen mit Mobilitätseinschränkungen. Im Allgemeinen kann SpatialGPT in Echtzeit auf beliebige Datensätze der Stadt oder von Firmen zugreifen und diese Daten mit in die Entscheidungen einfließen lassen. Zum Beispiel bieten viele Städte OPEN-DATA-PORTALE mit Informationen zu verschiedenen städtischen Aspekten wie Infrastruktur, Verkehr oder Umwelt an. Bei Eingang einer Nutzeranfrage kann SpatialGPT gezielt nach den benötigten Informationen suchen, diese extrahieren und für Analysen, Berichte oder direkte Antworten auf die Anfrage bereitstellen.

Literatur

OPEN DATA PORTALE in München <https://opendata.muenchen.de/> und Hamburg: <https://www.urbandataplattform.hamburg>

ZHANG, YIFAN, CHENG WEI, SHANGYOU WU, ZHENGTING HE & WENHAO YU (2023), "Geogpt: Understanding and processing geospatial tasks through an autonomous gpt." arXiv preprint arXiv:2307.07930

Finden Sie mehr Informationen über SpatialGPT im Smart City Kontext unter www.se3.ai/city

Erklärvideo: "SpatialGPT: Speak to your data". SE3 Labs GmbH - Youtube Channel (Upload 14.02.2024): <https://www.youtube.com/watch?v=A361iRIMLzg>

Geodaten im Kontext von Datenräumen

Michael BIRLBAUER

DRM Datenraum Mobilität GmbH · Karolinenplatz 4 · 80333 München

E-Mail: michael.birlbauer@mobility-dataspace.eu

1 Einführung ins Thema

Mobilitätsdaten spielen eine entscheidende Rolle im Bereich der Geoinformatik und revolutionieren unser Verständnis und die Optimierung von Transportsystemen. Selbst erhobene und extern bezogene Daten werden genutzt, um ein umfassendes Verständnis für die Dynamik des Verkehrs, Nutzungsmuster und städtische Mobilitätsprobleme zu erhalten. Ein wichtiger Aspekt geteilter Mobilitätsdaten in der Geoinformatik besteht in ihrer Fähigkeit, die Verkehrsplanung zu verbessern. Durch die Aggregation und Analyse von Daten aus geteilten Mobilitätsdiensten können Stadtplaner unschätzbare Einblicke in Verkehrsflüsse, beliebte Routen und Stoßzeiten gewinnen. Diese Informationen ermöglichen es ihnen, fundierte Entscheidungen über die Entwicklung von Infrastrukturen, Verkehrsmanagement und die Zuweisung von Ressourcen zu treffen, was letztendlich zu effizienteren und nachhaltigeren städtischen Transportsystemen führt.

Darüber hinaus ermöglichen Mobilitätsdaten die Optimierung bestehender Verkehrsnetze. Durch die Identifizierung unterausgelasteter Routen oder Gebiete mit hoher Nachfrage können Interessengruppen Dienste anpassen und optimieren, um den Bedürfnissen der Gemeinschaft besser gerecht zu werden. Dieser dynamische Ansatz zur Verkehrsplanung führt zu verbesserter Servicequalität, reduzierter Stausituationen und insgesamt verbesserten Mobilitätsenerlebnissen für die Bewohner. Daneben werden Mobilitätsdaten auch zur Entwicklung innovativer Lösungen für städtische Herausforderungen genutzt. Sie ermöglichen die Erstellung von Echtzeit-Navigationssystemen, personalisierten Reiseempfehlungen und die Integration verschiedener Verkehrsarten in nahtlos vernetzte Netzwerke.

Um den Zugriff auf relevante Daten zu erleichtern, entstehen derzeit zahlreiche Datenräume. Datenräume erleichtern den Zugriff auf externe Daten, indem sie einen strukturierten und sicheren Raum für Austausch von mobilitätsrelevanten Daten bieten. Für Planung, Produkte, Analysen können Daten in verschiedenen Formaten vorliegen und von verschiedenen Quellen stammen, was die Integration und den Zugriff oft komplex macht. Ein Datenraum schafft eine zentralisierte Plattform, auf der diese Daten organisiert und leicht zugänglich sind.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

Der Mobility Data Space erleichtert als sichere Infrastruktur zum souveränen Datenaustausch die Nutzung relevanter Mobilitätsdaten, die in vielen Fällen nicht öffentlich verfügbar sind. Dabei agiert der Mobility Data Space als neutraler Akteur, der zwischen Akteuren aus Privatwirtschaftlicher, öffentlicher Hand oder auch Forschung vermittelt und als zentraler Plattform für den Austausch und gemeinsame Nutzung von Mobilitätsdaten fungiert.

Im Fokus des Vortrags stehen praktische Anwendungen und Beispiel für verfügbare Daten, die verdeutlichen, wie der Mobility Data Space unterschiedlichste Anspruchsgruppen beim Bezug oder der Zurverfügungstellung ihrer Mobilitätsdaten unterstützt. Beispiele umfassen die Optimierung von Verkehrsflüssen durch Echtzeitdaten, die Identifikation von Gefahrenstellen oder die Anpassung von Verkehrsinfrastrukturen.

Des Weiteren wird die Bedeutung von Datenintegration und -standardisierung hervorgehoben, um eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren im Mobilitätssektor zu gewährleisten. Der Mobility Data Space erleichtert den Zugang zu relevanten Daten und fördert die Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Dienstleistungen.



Abb. 1: Darstellung einer Heatmap, die auf Grundlage historischer Unfalldaten Gefahrenstellen in Berlin anzeigt.
Bildrechte: Esri Deutschland GmbH



Abb. 2: Darstellung eines Dashboards zur Echtzeit-Visualisierung von erfassten Unfall- und Gefahrenstellen.
Bildrechte: MOBIAS Mobility Advanced Solution GmbH

TwinBy – Digitale Zwillinge für Kommunen

Stefan BOBINGER

Referat A3 - Digitalisierung in ländlichen Räumen, digitale Nachhaltigkeit

Referat D2 - Cloud, Plattformen und Datenmanagement

Bayerisches Staatsministerium für Digitales · Oskar-von-Miller-Ring 35 · 80333 München

E-Mail: stefan.bobinger@stmd.bayern.de

1 Einführung ins Thema

Digitale Zwillinge bieten für (bayerische) Städte und Regionen eine transformative Technologie, die es ermöglicht, unseren Lebensraum neu zu verstehen, zu planen und zu optimieren. Durch die Nutzung diverser Datenquellen zur Erstellung visueller Simulationen ermöglichen sie die effektive Sammlung, Analyse und Umwandlung von Daten in handlungsrelevante Informationen.

Herausforderungen bei der Implementierung digitaler Zwillinge umfassen die Sicherstellung der Interoperabilität der Daten, die Anpassung der IT-Infrastruktur durch offene, standardisierte Schnittstellen und Datenformate sowie kulturelle Anpassungen zur Förderung der Zusammenarbeit über organisatorische und kommunale Grenzen hinweg.

Das Ergebnis dieser Bemühungen ist die Entwicklung eines interoperablen Ökosystems, das den Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren erleichtert und intelligente, vernetzte Städte und Regionen ermöglicht, die den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts kollektiv gewachsen sind.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Digitale Zwillinge mit SDDI

Bei der Umsetzung digitaler Zwillinge in Bayern steht das Konzept der **Interoperabilität** im Mittelpunkt des Smart-District-Data-Infrastructure (**SDDI**)-Ansatzes. Durch die Förderung der Daten- und Systemkompatibilität ermöglicht es eine effiziente Sammlung, Analyse und Umwandlung von Daten in relevante Aktionen. Die Grundlage bildet die Anpassungsfähigkeit bestehender Infrastrukturen, um diese nahtlos in ein vernetztes System zu integrieren, wodurch die Grundlage für eine umfassende digitale Transformation geschaffen wird.

Das SDDI fördert weiterhin die Entwicklung eines **Ökosystems**, das alle gesellschaftlichen Bereiche – Verwaltung, Wissenschaft, Wirtschaft sowie die Bürgerinnen und Bürger – einbezieht. Diese integrative Herangehensweise ermöglicht eine kollaborative Problemlösung, indem sie verschiedene Perspektiven und Expertisen bündelt, um gemeinsam gegenwärtige und zukünftige Herausforderungen anzugehen.

Das **virtuelle Distriktmodell** fungiert als Kernkomponente des Systems und dient als zentrale Plattform für die Integration und Analyse von Daten aus diversen Fachdisziplinen. Durch die Anwendung des CityGML-Standards werden komplexe städtische Strukturen in einem semantischen 3D-Modell abgebildet. Dies unterstützt nicht nur eine visuell ansprechende Darstellung, sondern erleichtert auch Planung und Simulation, wodurch kommunale Entscheidungsprozesse erheblich verbessert werden können.

Der **SDDI-Katalog** fungiert als zentrale Informationsquelle innerhalb des Ökosystems. Er ermöglicht den Zugriff auf umfangreiche Datenbestände, indem er Details zu Lokalität, Zugänglichkeit und Nutzungskonditionen bereitstellt. Durch die Bereitstellung einer standardisierten Suchfunktion und Registrierung werden Datenquellen navigierbar und vernetzt, was die Effizienz und Sicherheit der Datenverwaltung steigert.

Schließlich erhöht das SDDI-Konzept die **Transparenz** und Zugänglichkeit komplexer Daten für die Allgemeinheit. Durch offene Schnittstellen und eine einheitliche Datenintegration werden Informationen nicht nur für Fachanwender, sondern auch für Laien zugänglich und verständlich. Die visuelle Aufbereitung fördert das Verständnis und die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger an kommunalen Entwicklungsprozessen, was das SDDI zu einem essenziellen Werkzeug für eine zukunftsorientierte, partizipative Kommunalentwicklung in Bayern macht.

2.2 Förderung Digitaler Zwillinge mit TwinBy

Das Förderprojekt "**TwinBy - Digitale Zwillinge für Bayern**" stellt eine wegweisende Initiative des Freistaats Bayern dar, um die Implementierung digitaler Zwillinge auf der Grundlage des Smart-District-Data-Infrastructure (SDDI)-Konzepts voranzutreiben. Mit einer finanziellen Unterstützung von bis zu 50.000 Euro für einzelne Kommunen und bis zu 75.000 Euro für kommunale Verbände zielt das Projekt darauf ab, erste Anwendungsfälle (Use Cases) im SDDI-Katalog zu dokumentieren. Diese sollen anderen bayerischen Kommunen als Blaupause dienen und gleichzeitig zur

Weiterentwicklung des SDDI-Katalogs beitragen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Förderung kleinerer Kommunen, um sicherzustellen, dass auch sie von den Vorteilen digitaler Zwillinge profitieren können.

Insgesamt wurden 16 Fördervorhaben über ein Jahr lang begleitet, deren Ergebnisse auf einer **Abschlussveranstaltung am 11. April** in München präsentiert werden. Die Bandbreite der Use Cases, die im Rahmen von TwinBy entwickelt wurden, ist vielfältig und reicht von Umwelt- und Klimafolgenanpassung, über erneuerbare Energien, Liegenschaftsmanagement, Stadtentwicklung und -geschichte bis hin zur Straßen- und Verkehrsplanung, interkommunalen Bauprojekten und Bettenbelegung im Krankenhaus. Diese Themenvielfalt spiegelt das breite Anwendungsspektrum digitaler Zwillinge wider und demonstriert, wie vielseitig sie zur Lösung kommunaler Herausforderungen eingesetzt werden können.

Um die Mitarbeitenden in den Kommunen für die erfolgreiche Implementierung digitaler Zwillinge zu qualifizieren, wurde ein obligatorisches **Weiterbildungsangebot** bereitgestellt. Dieses Programm fokussiert die Vermittlung von Datenkompetenz sowie die Grundlagen des SDDI-Konzepts und ist in zwei Lernblöcke gegliedert, die dem Blended Learning Konzept folgen. Diese strukturierte Qualifizierung soll sicherstellen, dass die Beteiligten in der Lage sind, die neuen Technologien sinnvoll und effektiv in ihre Arbeit zu integrieren.

Ein zentraler Aspekt des TwinBy-Projekts war neben der technischen und finanziellen Unterstützung auch die **Vernetzung** und der Dialog unter den Teilnehmenden. Dieser Austausch fördert nicht nur das gegenseitige Lernen und die Weitergabe von Best Practices, sondern stärkt auch das Bewusstsein für die Bedeutung digitaler Zwillinge als Instrument für eine nachhaltige, effiziente und zukunftsorientierte Kommunalentwicklung.

Durch die Fokussierung auf das SDDI-Konzept und die damit verbundene Förderung der Interoperabilität von Daten und Systemen trägt TwinBy entscheidend dazu bei, die Grundlage für ein umfassendes, **digitales Ökosystem in Bayern** zu schaffen. Dieses Ökosystem ermöglicht es den bayerischen Kommunen, aktuelle und zukünftige Herausforderungen gemeinsam zu bewältigen und stellt einen bedeutenden Schritt in Richtung einer intelligent vernetzten öffentlichen Verwaltung dar.

Geodateninfrastruktur Bayern - Fundament für digitale Zwillinge

Daniela SCHLEDER

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat· Odeonsplatz 4· 80539 München

E-Mail: daniela.schleder@stmfh.bayern.de

1 Einführung ins Thema

Digitale Zwillinge werden derzeit in vielen Kommunen und Regionen aufgebaut – oft im Rahmen von Förderprojekten wie TwinBy (www.twinby.bayern) oder Connected Urban Twins (www.connectedurbantwins.de). Wesentliche Grundlage hierfür sind Geodaten, die seit vielen Jahren über Geodateninfrastrukturen (GDI) beispielsweise in Bayern (GDI-BY) standardisiert im Internet bereitgestellt werden. Nun gilt es, die GDI-BY technisch und organisatorisch weiterzuentwickeln – hin zu einem Fundament, das den Aufbau von digitalen Zwillingen sowie Smart Cities and Regions bestmöglich unterstützt.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Angebot der GDI-BY für digitale Zwillinge

Die GDI-BY bietet wesentliche Grundlagen für die Erstellung digitaler Zwillinge.

1. Daten:

Die Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung gewährleisten einen anwendungsneutralen, einheitlichen Raumbezug für die weiteren Daten. Ein Großteil dieser Geobasisdaten wie beispielsweise 3D-Gebäudemodelle (LoD2, s. Abb.), Digitale Orthophotos (40 cm) oder das Digitale Geländemodell (1 m/5 m) ist kostenlos als Open Data zum Download verfügbar (www.geodaten.bayern.de/opengeodata).

Im Geoportal Bayern (www.geoportal.bayern.de) wird darüber hinaus eine Vielzahl von thematischen Geofachdaten von staatlichen Behörden, Kommunen und Privaten angeboten – beispielsweise zu Sonneneinstrahlung, Hochwassergefahren, Breitbandausbau oder Bauleitplanung.

2. Infrastruktur:

Zentrale technische Komponenten für die Bereitstellung von Geodaten über Geodatendienste, die Recherche nach Ressourcen (Metadatenkatalog) oder die Darstellung von Online-Karten (www.bayernatlas.de) werden dauerhaft betrieben und kontinuierlich weiterentwickelt.

Die Komponenten entsprechen internationalen technischen Standards für die Beschreibung von Ressourcen und die Bereitstellung von Geodaten über offene Schnittstellen und gewährleisten so Interoperabilität, Transparenz und Vernetzung.

3. Anwendungen:

Fachspezifische Anwendungen/Portale wie der Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de) bieten einen einfachen Zugang zu bayernweit verfügbaren Informationen und Daten.

4. Netzwerk mit Erfahrung:

Die GDI-BY bietet ein etabliertes Netzwerk sowie Plattformen, damit sich Anwenderinnen und Anwender untereinander oder mit Expertinnen und Experten vernetzen und Erfahrungen austauschen können.

5. Rechtlicher Rahmen:

Mit dem Bayerischen Geodateninfrastrukturgesetz (BayGDIG) und standardisierten Nutzungsbedingungen in der GDI-BY bestehen wichtige Grundlagen für die rechtssichere Nutzung der Geodaten der GDI-BY.



Abb. 1 : Darstellung des 3D-Gebäudemodells von Bamberg im BayernAtlas (Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de).

2.2 Weiterentwicklung der GDI-BY

Das Geoportal Bayern wird in einem agilen Prozess mit den Nutzerinnen und Nutzer, sowie den geodaten anbietenden Stellen bedarfsorientiert zur umfassenden Geoplattform ausgebaut. Dabei soll das Datenangebot erweitert werden (z. B. um Sensordaten) und standardisierte, moderne Schnittstellen (z. B. APIs) für eine leichtere Integration der Geodaten in (Web-)Anwendungen oder digitale Zwillinge bereitgestellt werden. Ferner wird eine Plattform geschaffen, auf der Anwendungsbeispiele ("Best Practice") und die dafür genutzten Geodaten präsentiert werden können. In Förderprojekten wie TwinBy aufgebaute Kataloge können über offene, standardisierte Schnittstellen mit dem Metadatenkatalog der GDI-BY vernetzt werden, so dass über ein Harvesting einmal erfasste Metadaten einfach ausgetauscht und Daten so überall schnell gefunden werden. Ein "Starterpaket" an Geodaten, Geodatendiensten und Anwendungen aus der GDI-BY, die für viele digitale Zwillinge wichtig sind, kann beispielsweise so angeboten und die Geoplattform zum Einstiegspunkt auch für die Suche nach digitalen Zwillingen genutzt werden.

Neben den technischen Aspekten beschäftigt sich die GDI-BY derzeit auch mit der Weiterentwicklung des organisatorischen und rechtlichen Rahmens beispielsweise in Sachen Datenschutz für Geodaten. Dies ist eine wichtige Grundlage, damit digitale Zwillinge rechtssicher und datenschutzkonform aufgebaut werden können

Die "Digitale-Zwillinge-Community" ist eingeladen, ihre Anforderungen für die Weiterentwicklung der GDI-BY in allen o. g. Bereichen einzubringen. Die GDI-Prinzipien Standardisierung, Interoperabilität und Vernetzung sind dabei auch für digitale Zwillinge wichtig, damit die in Projekten aufgebauten Anwendungen in die kommunalen IT sowie in übergreifende Dateninfrastrukturen und den Digitalen Zwilling Bayern integriert werden können. So kann die Vision eines Baukastensystems aus modularen, interoperabel verknüpfbaren Komponenten und Daten (DEUTSCHER STÄDTETAG, SCHUBBE ET AL.) realisiert und die GDI-BY zum verlässlichen Fundament werden, auf dem digitale Zwillinge und Smart Cities and Regions aufgebaut werden können.

Literatur

- DEUTSCHER STÄDTETAG (2023), Urbane Digitale Zwillinge. Eine Stadt sehen, verstehen und lebenswert gestalten. Expertenpapier der Fachkommission Geoinformation, Vermessung und Bodenordnung des Deutschen Städtetages, <https://www.staedtetag.de/files/dst/docs/Publikationen/Weitere-Publikationen/2023/expertenpapier-urbane-digitale-zwillinge-2023.pdf>
- SCHUBBE et al. (2023), Urbane Digitale Zwillinge als Baukastensystem: Ein Konzept aus dem Projekt Connected Urban Twins (CUT). In: zfv, 1, 14-23.

Einfache dienstbasierte Nutzung von 3D-Daten

Volker COORS¹, Thunyathep SANTHANAVANICH¹ und Max SCHULTZE²

¹Hochschule Stuttgart · Schellingstr. 24, · 70174 Stuttgart

E-Mail: volker.coors@hft-stuttgart.de, thunyathep.santhanavanich@hft-stuttgart.de

²M.O.S.S. Computer Grafik Systeme · Buchenstraße 16b · 01097 Dresden

E-Mail: mschultze@moss.de

1 Einführung ins Thema

Kommunen stehen vor gewaltigen Herausforderungen: die Energie- und Mobilitätswende verlangen eine klimaneutrale Entwicklung. Der Klimawandel erfordert Anpassungen und Schutz der Siedlungsräume vor Starkregen, Trockenperioden und Hitzewellen. Die Digitalisierung bringt bisherige Geschäftsmodelle ins Wanken. Gleichzeitig fordern Bürger:innen mehr Mitbestimmung bei den notwendigen Transformationsprozessen. Um diesen Herausforderungen zuverlässiger und schneller zu begegnen, können 3D-Geodaten einen wertvollen Beitrag leisten. Exemplarisch seien hier (SCHROTTER & HÜRZELER 2020), (ROSSKNECHT & AIRAKSINEN 2020) und (WÜRSTLE, SANTHANAVANICH, PADSALA, & COORS 2021) genannt. Dazu sind Prozessketten und standardisierte Schnittstellen erforderlich, die eine möglichst einfache Integration dieser Daten in bestehende und neue Anwendungen erlauben. Aktuelle Browsertechnologie ermöglicht die 3D-Visualisierung von Geodaten ohne Zusatzsoftware an jedem Arbeitsplatz. 3D-Geodaten liegen mehr und mehr auch in der Fläche vor. Trotz dieser positiven Rahmenbedingungen ist die 3D-Web-Visualisierung gerade in mittleren oder kleinen Kommunen noch nicht in der Praxis angekommen. Mit dem OGC-Standard 3D Portrayal Service (3D PS) und der Entwicklung der OGC API 3D GeoVolumes bietet sich jetzt die Chance vermehrt auf verteilte und kaskadierende 3D-Webservices zuzugreifen und das hersteller- und technologieübergreifend.

2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

2.1 Projektvorstellung und Anwenderprojekte

Das Projekt „Einfache dienstbasierte Nutzung von 3D-Daten“ des Runden Tisch GIS e.V (Runder Tisch GIS e.V., 2022) geht in die zweite Projektphase. Das Projekt untersucht die Möglichkeiten der Datenbereitstellung von Digitalem Geländemodell und 3D-Gebäudemodellen zur web-basierten 3D-Visualisierung über einen solchen Dienst. Die im Projekt beteiligten Anwender nutzen diesen Dienst, um sich daraus ergebende Anwendungsfelder anhand von konkreten Fallbeispielen aus dem Umfeld der Kommunen und der Landesverwaltungen aufzuzeigen.

2.2 Einbindung der SmartMapping Daten in die GeoVolumes API

Die Smart Mapping Initiative der ADV stellt in einer beta-Version unter anderem ein bundesweites 3D-Gelände- und -Gebäudemodell zur Web-basierten Visualisierung⁸ bereit. Diese Visualisierung steht als 3D-Web-Karte zur Verfügung und kann auch über eine API in andere Web-basierte Anwendungen eingebunden werden. In einer Fallstudie mit der Stadt Fellbach wird diese Smart Mapping API untersucht und mit der Nutzung eines eigenen Modells verglichen. Hierzu wird als Datengrundlage das Gebäudemodell in CityGML LoD 2 und das digitale Geländemodell mit einer Gitterweite von 5m (DGM 5) über die Smart Mapping API genutzt⁹. Parallel dazu wird ein volltexturiertes CityGML Gebäudemodell LoD 2 der Stadt Fellbach verwendet. Beide Datensätze werden in einem Web-basierten Viewer dargestellt, so dass ein Wechsel der Modelle in derselben Anwendung möglich ist. Als Viewer wird die Open Source Software Virtual City Map genutzt. Um eine einheitliche Schnittstelle zu gewährleisten, wird sowohl für die Smart Mapping API als auch für das volltexturierte Modell der Stadt Fellbach eine OGC API 3D GeoVolumes zur Verfügung gestellt.

Für die Smart Mapping API dient die OGC API 3D GeoVolumes lediglich als Fassade, die die Anfragen an die API weiterleitet. Das volltexturierte CityGML Modell der Stadt Fellbach wird zunächst in das streaming-fähige Datenformat 3D-Tiles konvertiert, welches auf einem Web-Server bereitgestellt wird.

Durch die notwendige Datenaufbereitung des texturierten Gebäudemodells der Stadt Fellbach ist der Aufwand zur Datenbereitstellung zur Visualisierung deutlich höher als bei der Verwendung der Smart Mapping API. Die Nutzung des 3D-Geändemodells über die Smart Mapping API in Kombination mit dem Gebäudemodell der Stadt Fellbach ist sehr gut

⁸ <https://dev.adv-smart.de/index.html>

⁹ <https://basemap.de/beta-lod2-gelaende/>

möglich. Die Gebäude liegen passgenau auf dem Geländemodell. Dies ist ein sehr großer Vorteil gegenüber der Verwendung des Geländemodells, das über den Cesium-Globus bereitgestellt wird.

Im nächsten Schritt sollen Daten zum Wasserbedarf und zu Brauchwassermengen und -qualitäten in einem Gewerbegebiet in Fellbach und den angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Visualisierung integriert werden. Damit soll das Potenzial der Brauchwassernutzung für die Bewässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen aufgezeigt werden. Die Daten wurden in dem vom DBU geförderten Projekt Pro.Lab-Fellbach erhoben (FKZ 38396/01).



Abb. 4: Darstellung des 3D-Gebäudemodells mit Geländemodell über die Smart Mapping API (oben) und kombinierte Darstellung texturiertes 3D-Gebäudemodell der Stadt Fellbach mit Geländemodell über Smart Mapping API.

Literatur

- SCHROTTER, G., & HÜRZELER, C. (01. 02 2020), The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, 99 - 112. doi:10.1007/s41064-020-00092-2
- ROSSKNECHT, M., & AIRKASINEN, E. (2020), Concept and Evaluation of Heating Demand Prediction Based on 3D City Models and the CityGML Energy ADE—Case Study Helsinki. ISPRS International Journal of Geo-Information. doi:10.3390/ijgi9100602
- WÜRSTLE, P., SANTHANAVANICH, T., PADSALA, R., & COORS, V. (2021), DEVELOPMENT OF A DIGITAL 3D PARTICIPATION PLATFORM – CASE STUDY OF WEILIMDORF (STUTT GART, GERMANY). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (S. 123-129).
- RUNDER TISCH GIS E.V. (2022). Einfache dienstbasierte Nutzung von 3D-Daten. Von https://katalog.rundertischgis.de/datahub_resource/abschlussbericht-einfache-dienstbasierte-nutzung-von-3d-daten-projektphase-1 abgerufen

Deine Stadt – spielerische Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger mit 3D Geodaten

Stefan GÖBEL¹ und Markus MOHL²

¹Technische Universität Darmstadt · AG Serious Games · Rundeturmstr. 10 · 64283 Darmstadt

E-Mail: stefan_peter.goebel@tu-darmstadt.de

²Landeshauptstadt München – Kommunalreferat – GeodatenService · Denisstr. 2 · 80335 München

E-Mail: digitaler.zwilling@muenchen.de

1 #DigitalTwins4DigitalNatives

Die Neuordnung und Verteilung der Verkehrsflächen im öffentlichen Raum im Rahmen der Mobilitätswende geht meist einher mit Interessens- und Nutzungskonflikten. Daher müssen Städte und Gemeinden an der Akzeptanz von neuen Mobilitätskonzepten mit motorisiertem Individualverkehr, Radfahrer*innen und Fußgänger*innen sowie ÖPNV arbeiten, um die Lebensqualität in der Kommune insgesamt zu steigern. Dabei ist festzustellen, dass sich jüngere Bürgerinnen und Bürger bei aktuellen Verfahren der Öffentlichkeitsbeteiligung nur in geringem Maße beteiligen bzw. diese Zielgruppe nur unzureichend erreicht wird.

Basierend auf dieser Ausgangssituation forscht das BMBF-geförderte Vorhaben „Deine Stadt“ zur nutzer*innenzentrierten Entwicklung und Erprobung eines partizipativen Tools zur spielerischen Förderung von interaktiver und datengetriebener Planung in Kommunen. Unter dem Motto *#DigitalTwins4DigitalNatives* entwickelt das Projektkonsortium bestehend aus der Landeshauptstadt München, der Technischen Universität Darmstadt, der High Vision GmbH und der wer denkt was GmbH eine Kombination von konsultativer Bürger*innenbeteiligung und 3D-Geodaten des Digitalen Zwillinges der Kommune zu einem Demonstrator, der interaktive, spielerische Planungsszenarien in einem Serious Game simuliert. Das Computerspiel wird als niederschwellige Simulation entwickelt, in der Nutzer*innen mit verschiedenen Verkehrsmitteln das Planungsareal erkunden und Feedback geben können. Dabei soll evaluiert werden, inwieweit sich dadurch traditionell schwer erreichbare Gruppen wie Jugendliche und junge Erwachsene, die als „Digital Natives“ mit Digitalen Medien und Computerspielen aufgewachsen sind, im Rahmen einer Bürger*innenbeteiligung aktivieren lassen. Das Informations- und Kooperationsforum für Geodaten des Zentrums für Graphische Datenverarbeitung e.V. (InGeoForum) begleitet das Vorhaben als assoziierter Partner und unterstützt die Vernetzung des Verbundvorhabens mit Akteur*innen und Verbänden in der Geo-Community.



2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

Im Vortrag wird das im Oktober 2023 gestartete Forschungsvorhaben „Deine Stadt“ und dessen Ziele sowie erste Ansätze und zugrundeliegende Vorarbeiten der beteiligten Partner*innen vorgestellt.

2.1 Der Urbane Digitale Zwillings der Landeshauptstadt München als Grundlage

Die Landeshauptstadt München hat spätestens mit dem Radentscheid im Jahr 2019 umfassende Planungsprozesse mit Blick auf die notwendige Mobilitätswende begonnen. Das 2021 neu gegründete Mobilitätsreferat bündelt die Kompetenzen für die Steuerung der Mobilität. Neben dem Mobilitätsreferat bringt der GeodatenService München seine Kompetenzen und Erfahrungen mit dem Digitalen Zwillings in das Projekt ein. Die vielfältigen Planungen im Bereich der Mobilität in der Stadt bieten ausreichend Anwendungsfälle für das Forschungsvorhaben. So z. B. die Planungen zu einer „Altstadt für alle“, die mit einer starken Neuordnung des öffentlichen Raumes einhergeht. Neben der Planungskompetenz hat München im Allgemeinen und das Mobilitätsreferat im Speziellen bereits vielfältige Erfahrungen mit analoger wie digitaler Öffentlichkeitsbeteiligung gemacht. Die Stadt belegte 2022 mit der Visualisierung des Planungsvorhabens Boschetsrieder Straße im Digital Twin der Stadt München den 2. Platz aus 128 Einreichungen beim Deutschen Fahrradpreis.

Der Digitale Zwillings München als virtuelle Repräsentation der realen Stadt ermöglicht es, Planungsszenarien und ihre Auswirkungen zu veranschaulichen und zu simulieren. Der Digitale Zwillings wird so zur **digitalen Infrastruktur der klimaneutralen Stadt**.

Seit 2018 entwickelt der GeodatenService München (Kommunalreferat) in enger Zusammenarbeit mit weiteren städtischen Referaten den Digitalen Zwillings der Stadt. Zusätzlich wird das umfassende Vorhaben seit März 2021

wissenschaftlich begleitet von der Technischen Universität München. Neben dem Aufbau der Datengrundlage werden „Was-Wäre-Wenn-Szenarien“ auf Basis des Digitalen Zwillings durchgeführt.

Einen sehr wichtigen Anwendungsbereich stellt die Öffentlichkeitsbeteiligung dar. Dabei werden die Visualisierungsmöglichkeiten des 3D-Stadtmodells genutzt, um in Beteiligungsverfahren die Bürgerinnen und Bürger sowie die Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger besser einbinden zu können. Planungs- oder Konzeptszenarien werden in das Datenschema des Digitalen Zwillings migriert und neben der aktuellen Bestandssituation in einer lokalen 3D Szene bereitgestellt. Die Nutzung erfolgt bedarfsabhängig in Form von Bildern, Videoanimationen, interaktiven 3D Web-Anwendungen oder Virtual Reality (VR) Panoramatouren.

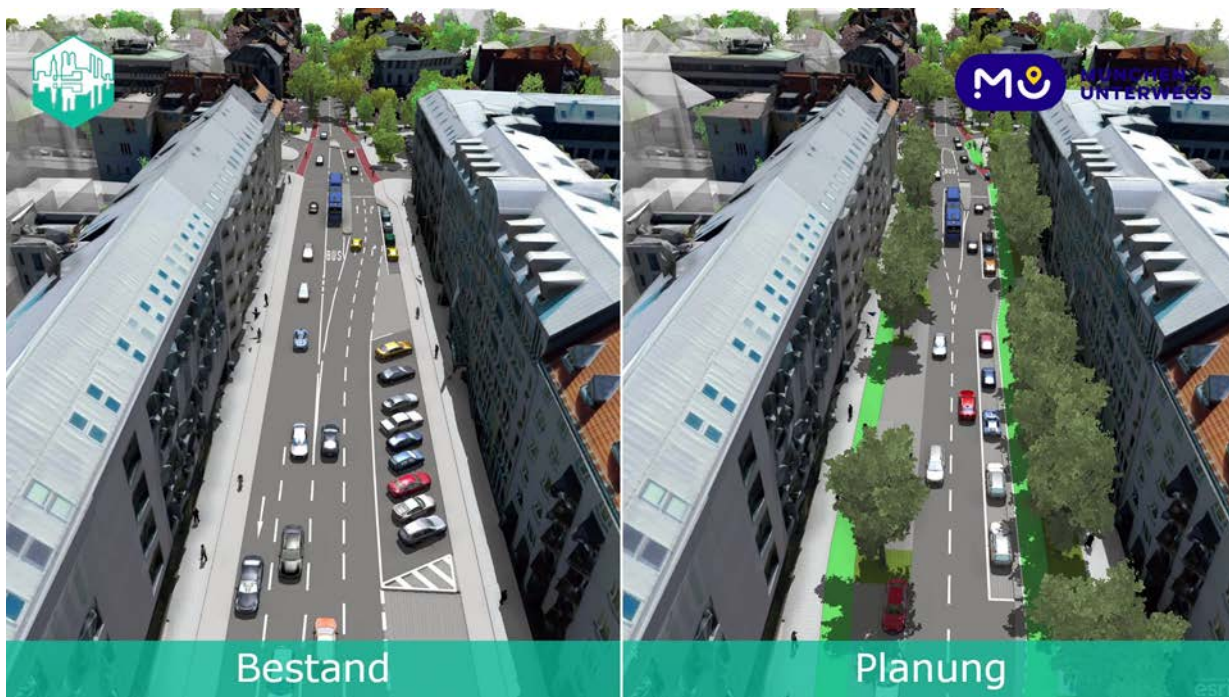


Abb. 1: Öffentlichkeitsbeteiligung am 27.02.2024 zur Paul-Heyse-Str. in München. Nutzung des Digitalen Zwillings.

Mit „Deine Stadt“ soll dieser Anwendungsfall durch den Einsatz von Spezialsoftware (Game Engines) weiterentwickelt werden, indem der Funktionsumfang erweitert und die Darstellung durch eine fotorealistische Visualisierung weiter professionalisiert wird.

2.2 Serious Games und Game-Technologie als Tools zur spielerischen Bürgerbeteiligung

Bei Serious Games (DOERNER, GÖBEL, EFFELSBURG & WIEMEYER 2016) und Gamification (DETERDING, DIXON, KHALED & NACKE 2011) werden spielerische Elemente in Anwendungsbereichen neben der reinen Unterhaltung eingesetzt. Gamification-Elemente umfassen im Wesentlichen Punkte, Badges und Leaderboards. Bei Serious Games steht eine charakterisierende Zielsetzung im Vordergrund, bspw. ein Gesundheitseffekt, Lerneffekt oder eine Verhaltensänderung oder Bewusstseinserschaffung für gesellschaftlich relevante Themen wie die Notwendigkeit für umweltfreundliches Mobilitätsverhalten.

Game-Technologie wie Game-Engines werden seit langem zur graphischen Aufbereitung/Visualisierung bspw. in der Architektur oder Stadtplanung eingesetzt. Der Vorteil von Game-Technologie gegenüber geographischen Informationssystemen (GIS) und GIS-basierten 3D-Stadtmodellen ist, dass in den 3D-Räumen frei navigiert und interagiert werden kann und nicht nur einzelne Objekttypen in Form von Layern ein- und ausgeschaltet werden. Etablierte GIS-Anbieter wie ESRI haben den Trend hin zu frei navigierbaren spielerischen Umgebungen erkannt und für das ArcGIS-System über die City Engine (3D Geodatenmodelle) kürzlich Schnittstellen zu den weit verbreiteten Game Engines Unity 3D und Unreal geschaffen, um diesem Trend zur Nutzung von qualitativen Geodaten innerhalb derartiger Serious Games zu entsprechen. Auch werden Gaming-Konzepte in Anlehnung an *Sim City* und *Minecraft* auf den Bereich der Bürger*innenbeteiligung übertragen. Für die Stadtplanung hat die Serious Games-Gruppe an der TU Darmstadt bereits 2012/13 im Rahmen des ISPRAT-geförderten Vorhabens „Bürgerbeteiligung 2.0“ eine prototypisch realisierte

Onlineplattform *URCity* auf Basis von Unity 3D entwickelt, um Jugendliche aktiv an der Gestaltung von Konversionsflächen der Stadt Darmstadt mit einzubeziehen und Gelände nach eigenen Vorstellungen in 3D zu gestalten (beispielsweise für einen Skater-Park).

Aktuelle Ansätze wie das über die Computerspielförderung des BMWK finanzierten Smart City Ecosystem *Skillpolis* verfolgen einen sehr ähnlichen Ansatz und bieten zudem einen kleinen Editor, um die 3D-Umgebung kontinuierlich mit Objekten anzureichern. Dabei steht nicht die detailgetreue Umgebung im Vordergrund, sondern „fast realistische“ Umgebungen. *Cityscaper* ermöglicht durch eine Augmented Reality-App die Überlagerung von realen Umgebungen mit 3D- Modellen und eignet sich zur Visualisierung von Verkehrsplanungsvorhaben, erfordert aber die ortsgebundene Präsenz zur Simulation und hat bisher noch keine enge Verschränkung zu klassischen, konsultativen Bürger*innenbeteiligungsverfahren. Die Eignung von Serious Games zur Förderung eines umweltfreundlichen Mobilitätsverhaltens zeigten die TU Darmstadt und die wer denkt was GmbH in Kooperation mit der Frankfurt University of Applied Sciences und dem Rhein-Main Verkehrsverbund im Hessen LOEWE Modellprojekt „SG4SmartMobility“ (GÖBEL, GÁMEZ-ZERBAN, MÜLLER, TREGEL, GILBERT, CHRISTIAN & SCHMOLDT 2019).



Abb. 2: UrCity Reloaded, Editor zur Gestaltung von 3D-Umgebungen auf Basis von Unity 3D am Beispiel des virtuellen Campus (3D Stadtmodell) der TU Darmstadt.

Im Forschungsvorhaben *Deine Stadt* konzipiert die AG Serious Games der TU Darmstadt im Zusammenspiel mit den Partner*innen eine spielerische Simulationsumgebung und einen Editor, mit dem die Simulationsumgebung konfiguriert werden kann.

Literatur

Deine Stadt, <https://deinestadt.science/>

Digitaler Zwilling München, <https://muenchen.digital/twin>

3D Campus der TU Darmstadt einschließlich Editor UrCity Reloaded, https://www.etit.tu-darmstadt.de/serious-games/forschung_und_projekte_sg/3d_campus_sg/index.de.jsp

DETERDING, S., DIXON, D., KHALED, R. & NACKE, L. (2011), From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In Proc 15th academic MindTrek conference: Envisioning future media environments.

DOERNER, R., GÖBEL, S., EFFELBERG, W. & WIEMEYER, J. (2016), Serious Games – Foundations, Concepts and Practice. Springer International Publishing.

GÖBEL, S., GÁMEZ-ZERBAN, A., MÜLLER, P., TREGEL, T., GILBERT, A., CHRISTIAN, J. & SCHMOLDT, D. (2019), SG4Mobility: Educational Game for Environment-Friendly Mobility Behaviour. In European Conference on Games Based Learning (pp. 261-XVI). Academic Conferences International Limited.

Die Mobilitätsdatenstrategie der Stadt München

Attila LÜTTMERTING

Landeshauptstadt München - Mobilitätsreferat · Blumenstraße 31 · 80331 München

E-Mail: attila.luettmerding@muenchen.de

1 Zusammenfassung

Basierend auf Leitbildern wurden im Mobilitätsreferat eine Mobilitätsdatenstrategie entwickelt, einem „Münchner Mobilitätsmonitor“, welche die kontinuierliche Evaluierung der Zielindikatoren der Mobilitätsstrategie 2035 ermöglicht.

Die sechs herausgearbeiteten Kernindikatoren sind:

- Verkehrsaufkommen
- Modal Split
- Erreichbarkeit
- Flächenverteilung
- Aufenthaltsqualität
- Verkehrsunfälle

Das **Verkehrsaufkommen** zeigt die Verkehrsmengen im Netz des ÖV, MIV, Rad- und Fußverkehrs und wird typischerweise für einen Werktag als Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger bzw. Fahrgäste pro 24Std. angegeben.

Der **Modal Split** ist eng verbunden mit den Verkehrsmengen und zeigt den prozentualen Anteil der vier Verkehrsträger nach Verkehrsaufkommen (Wege) oder Verkehrsleistung (Personenkilometer). Hier können konkrete Ziele wie z.B. die 80% für den Umweltverbund konkret definiert werden. Aktuell wird der Modal Split über Befragungen ermittelt.

Die **Erreichbarkeit** ist ein Maß für die Qualität, wie gut man ein Ziel mit dem jeweiligen Verkehrsmittel erreichen kann. Dies beinhaltet meist typischerweise die Reisezeit, die man benötigt, um ein Ziel in einer bestimmten Entfernung zu erreichen. Die Erreichbarkeit kann vom gesamten Stadtgebiet zum Zentrum bzw. den Stadtteilzentren berechnet werden oder zwischen den Stadtteilzentren. Beim ÖV kann neben der Reisezeit/Entfernung zusätzlich auch die Fahrthäufigkeit (Takt) als Erreichbarkeitsqualität betrachtet werden.

Der Indikator **Flächenverteilung** ist eng verbunden mit dem Entscheidungskriterium Flächeneffizienz und enorm wichtig. Methodisch noch etwas schwer fassbar, soll dieser Indikator zeigen, wie effizient ein Verkehrsträger bzw. allgemein eine Kommune, die Fläche verwendet, um Menschen oder Güter von A nach B zu transportieren.

Die **Aufenthaltsqualität** als Indikator hat einige qualitative Elemente und soll darstellen, welchen Einfluss die einzelnen Verkehrsträger an bestimmten Stellen bzw. in der Stadt allgemein, auf die Qualität des Raumes hat. Die Aufenthaltsqualität sollte hierbei von allen Bevölkerungsgruppen bewertet werden und möglichst auch methodisch so weiterentwickelt werden, dass auch aufwandsreduzierend der Indikator quantitativ erfasst werden kann.

Beim Indikator **Verkehrsunfälle** ist das erklärte Ziel der Stadt München im Rahmen von Vision Zero, die Senkung der Zahl der Verkehrstoten auf null. Der Standard im Vergleich mit anderen Regionen ist die Betrachtung der Zahl der Verkehrstoten bzw. Verletzten pro Einwohner.

Zur Ermittlung der sechs Kernindikatoren sind folgende **Quellen** nutzbar:

- Befragungen
- Sensoren, Messungen, Mobilfunkdaten
- Daten von Mobilitätsdienstleistern
- Statistiken, GIS

Bei den **Befragungen** im Bereich Mobilität wechselte die LHM im Jahr 2023 von der MiD auf die SrV. Die SrV wird wertvolle Informationen zum Mobilitätsverhalten der Münchnerinnen und Münchner liefern. Neben der klassischen Haushaltsbefragung als Teil der deutschlandweiten SrV, die alle 5 Jahre stattfindet, führt das MOR zusammen mit der MVR ab 2024 eine kontinuierliche Umfrage zum Mobilitätsverhalten der Münchner*innen als Panelbefragung durch. Daneben gibt es auch Befragungen zum Thema Mobilität in einzelnen Projekten des MOR und als eigenes Kapitel in der großen Bevölkerungsbefragung des PLAN.

Bezüglich **Sensoren** kann das MOR auf ca. 100 Induktionsschleifen zurückgreifen, die Daten zu 9 Fahrzeugklassen des MIV liefern. Zudem gibt es sechs (bald zehn) Raddauerzählstellen und im Rahmen der Teilstrategie Fußverkehr sind nun auch Detektoren zum Fußverkehr geplant. Neben den Sensoren und Dauerzählstellen, sind auch räumlich und zeitlich flexibel einsetzbare manuelle bzw. videobasierte **Zählungen** des Rad-, Fußverkehr und MIV enorm wichtig für die Evaluation und für die Verkehrsplanung. Beim ÖPNV (U-Bahn, S-Bahn, Regionalbahn, Tram, Bus) kommen in fast allen

Fahrzeugen mittlerweile automatische Fahrgastzählssysteme zum Einsatz, welche aber auch durch manuelle Zählungen und Befragungen ergänzt werden. Das MOR ist auch in Gesprächen mit Mobilfunkanbietern, aber die Qualität bzgl. Unterscheidung der Verkehrsträger ist noch nicht hoch genug. Alle Zählungen und in Kürze auch die Detektordaten sind im stadintern entwickeltem IT-Fachverfahren **DAVe**, der Datenbank zur Auswertung von Verkehrszählungen, darstell- und abrufbar.

Das MOR erhält zudem sowohl von den öffentlichen (MVG, MVV, DB) als auch von den privaten **Mobilitätsdienstleistern** (Car-, Roller-, Rad-Sharing, Taxi) Daten zur Mobilität.

Eine weitere Quelle sind **Statistiken** und **Geodaten** des MOR, des Statistischen Amtes und weiterer Institutionen. Zur besseren Erstellung, Auswertung und Darstellung von Geodaten baut das Mobilitätsreferat eine **Geodateninfrastruktur** (GDI-MOR) auf.

Geodaten zur Unterstützung der Mobilitätswende am Beispiel des Verkehrsverbunds Rhein-Neckar

Hartmut GÜNDRA¹ und Markus MÜLLER²

¹Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH· B1, 3-5· 68159 Mannheim
E-Mail: h.guendra@vrn.de

²Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH· B1, 3-5· 68159 Mannheim
E-Mail: m.mueller@vrn.de

1 Geodaten für die Mobilitätswende

Der Verkehrsverbund Rhein-Neckar (VRN) ist ein Zusammenschluss von Gebietskörperschaften und Verkehrsunternehmen zur gemeinsamen und abgestimmten Durchführung des öffentlichen Personennahverkehrs im Verbundgebiet. Der VRN basiert auf der Kooperation des Zweckverbandes Verkehrsverbund Rhein-Neckar (ZRN), in dem sich 24 Landkreise, Stadtkreise sowie kreisfreie Städte und die drei Bundesländer Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen zusammengeschlossen haben, und seiner Tochtergesellschaft Verkehrsverbund Rhein-Neckar GmbH (VRN GmbH). Er deckt eine Fläche von ca. 10.000 km² ab, in der mehr als 3 Mio. Menschen auf Dienstleistungen des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) angewiesen sind. Ziel des Verkehrsverbundes ist, die Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs im Verbundgebiet durch Sicherung, Verbesserung und Ausbau weiter zu erhöhen und damit die Mobilitätswende voranzutreiben.

Seit 2019 wurden unter Federführung der Abteilung Digitale Information in mehreren internen Fachgesprächen und Kreativ-Workshops mehr als 20 datenzentrierte Anwendungsszenarien identifiziert, die in den Folgejahren umgesetzt werden sollten. Die Grundlage für die Umsetzung ist ein zielorientierter Verfahrensplan zum Aufbau einer Big Data Infrastruktur beim VRN. Über smarte Datenanalyse sollen bestehenden Aufgaben unterstützt und im Sinne des evidenzbasierten Managements Entscheidungen transparent und datengestützt getroffen werden können.

Bei der Ausarbeitung der Big Data Datenstrategie steht der konkrete Nutzen digitaler Daten anhand besonders praxisrelevanter Anwendungsbereiche im Vordergrund. Die Big Data Datenstrategie baut auf der VRN Verkehrsdatenlandkarte auf, die initial (1) bestehende Datenverarbeitungssysteme und Datenbestände inventarisierte, (2) zusätzliche Datenbedarfe ermittelte und (3) Konzepte zur Datenverwaltung- und -pflege entwickelt hat (VRN Dreisprung). Erste Anwendungsszenarien wurden inzwischen umgesetzt.

Auch im Big Data Kontext spielen Geodaten eine wichtige Rolle. Geodaten sind die Grundlage für Planung von Verkehrsinfrastrukturen und -dienstleistungen. Mit Hilfe von Geodaten werden Fahrpläne, Routen und Haltestellen optimiert, um eine effizientere Nutzung vorhandener Ressourcen zu ermöglichen. Geodaten sind auch die Grundlage für die Entwicklung und Implementierung von multimodalen Verkehrslösungen. Durch die Integration von Geodaten in Verkehrsplanungs- und Entscheidungsprozesse kann der Verkehrsverbund Rhein-Neckar seine Dienstleistungen effektiver gestalten und zur erfolgreichen Umsetzung der Mobilitätswende in der Region beitragen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Anwendung von Geodaten zur Unterstützung der Mobilitätswende im Verkehrsverbund Rhein-Neckar. Beispielfhaft werden Anwendungen aus den Bereichen Auskunftssysteme, ÖPNV-Nutzungsdaten und ÖPNV-Angebot vorgestellt.

2 Anwendungsbereiche

2.1 Auskunftssysteme und Interaktive Karte

Bereits in den 90er-Jahren hat der VRN ein Elektronisches Fahrgast-Auskunftssystem (EFA) eingeführt, um Soll-Fahrpläne digital zu verwalten und beauskunften zu können. Dieses System wurde kontinuierlich ausgebaut und beauskunftet inzwischen die multimodalen Echtzeitangebote von über 50 Verkehrsunternehmen und Mobilitätsdienstleistern.

Die Integration von Daten zu verschiedenen Verkehrsträgern wie Bus, Bahn, Fahrrad, VRNnextbike und Carsharing aber auch neue Formen von On-Demand-Angeboten, der E-Mikromobilität oder autonome Shuttle-Dienste ermöglicht es den Nutzern, ihre Reisen nahtlos zu planen und zu kombinieren. Dies fördert die Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel und reduziert die Abhängigkeit vom privaten Auto. Geodaten werden genutzt, um Echtzeitinformationen für Reisende bereitzustellen. Durch die Integration von GPS- und Sensordaten in mobile Anwendungen können Nutzer über aktuelle Verkehrslagen, Verspätungen, Umleitungen und alternative Routen informiert werden. Dies erhöht die Transparenz und verbessert die Nutzererfahrung im öffentlichen Nahverkehr. Teil der Auskunftssysteme sind auch ein Geographisches Informationssystem (DIVA GIS) und die interaktive Karte (vgl. Abb. 1) als Teil der Web-Auskunft.

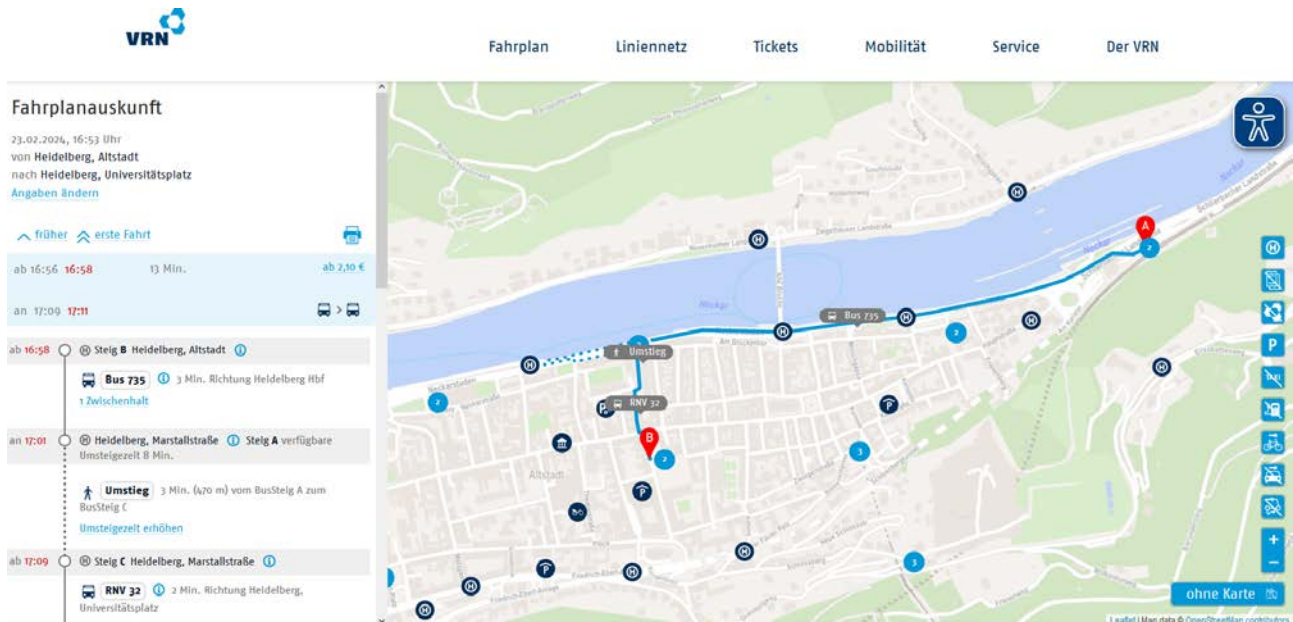


Abb. 1: Die interaktive Karte der VRN-Webauskunft (www.vrn.de). Die Abbildung zeigt beispielhaft eine ÖPNV-Verbindung in Heidelberg.

2.3 AFZS-Dashboard

Vertriebs-, Kunden- und Nutzungsdaten werden ebenfalls mit Geoinformation verknüpft und dazu verwendet, die Nutzung des Angebotes des Verkehrsverbunds zu dokumentieren. Darüber hinaus können solche Daten verwendet werden, um Mobilitätsangebote zu planen, zu optimieren und personalisierte Dienste anzubieten. Zum erweiterten Komplex „Vertriebs-, Kunden- und Nutzungsdaten“ gehören neben Daten der Automatisierten Fahrgastzählsysteme (AFZS) und Vertriebsdaten auch Daten zu den Verkehrsbedürfnissen der Kunden und den bevorzugten Verbindungen oder Verkehrsmittel (z.B. Fahrgasterhebungsdaten). Als erstes Produkt des Teams Big Data konnte im Jahr 2022 den Aufgabenträgern ein interaktives Dashboard zur Visualisierung und Analyse von AFZS-Daten zur Verfügung gestellt werden (vgl. Abb. 2).

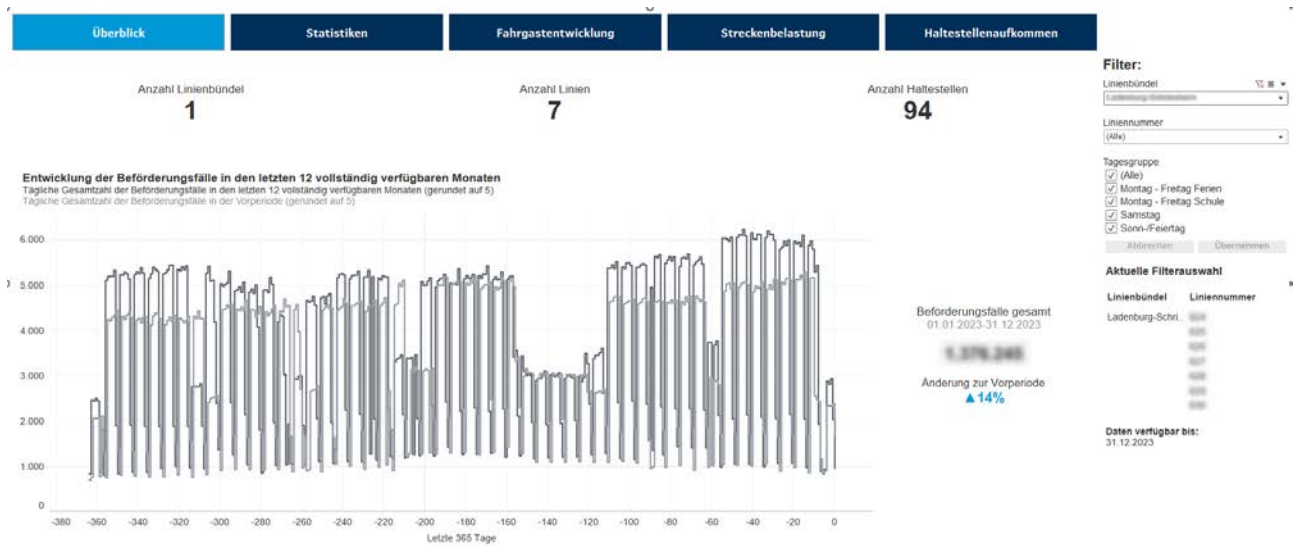


Abb. 2: Das AFZS-Dashboard für Daten der Automatisierten Fahrgastzählsysteme. Die Abbildung zeigt die Einstiegsseite des Dashboards. Das Dashboard ist aus Datenschutzgründen nicht öffentlich zugänglich.

2.3 Daten zum ÖPNV-Angebot im VRN Datenraum Mobilität und Open Data Portal

Um den Zugang zu diesen umfangreichen Datenbeständen, Diensten und Anwendungen zu ermöglichen, benötigt es eine leistungsfähige, flexible Infrastruktur, die es erlaubt, unter der Berücksichtigung eines ausgefeilten Rollen- und Rechtekonzepts auf offene und geschlossen Daten zuzugreifen. Mit dem [VRN Datenraum Mobilität](#) (vgl. Abb. 3) stellt

der VRN ein offener Datenraum zur Verfügung, der – vergleichbar zum Mobility Data Space (PRETZSCH ET AL. 2022) - über den sicheren Austausch hinaus die Erschließung verkehrlicher Echtzeitdaten und sensibler Mobilitätsdaten ermöglicht sowie existierende Datenplattformen miteinander vernetzt. Der VRN Datenraum Mobilität basiert auf der ArcGIS Enterprise Systemarchitektur. Einen weiteren Datenzugang bietet das [Open Data Portal](#) des VRN.



Abb. 3: Der Datenraum Mobilität des VRN. Die Abbildung zeigt die Startseite des VRN Datenraums.

Literatur

PRETZSCH, S.; DREES, H. & RITTERSHAUS, L. (2022), Mobility Data Space: A Secure Data Space for the Sovereign and Cross-Platform Utilization of Mobility Data. DOI: 10.1007/978-3-030-93975-5_21. IN BOOK: DESIGNING DATA SPACES

VERKEHRSVERBUND RHEIN-NECKAR (2024), Home | VRN Open Data Portal. (n.d.). <https://www.vrn.de/opendata/>.

VERKEHRSVERBUND RHEIN-NECKAR (2024), Home | VRN Datenraum Mobilität. <https://geoportail.vrn.de>.