

RUNDER TISCH GIS E.V.

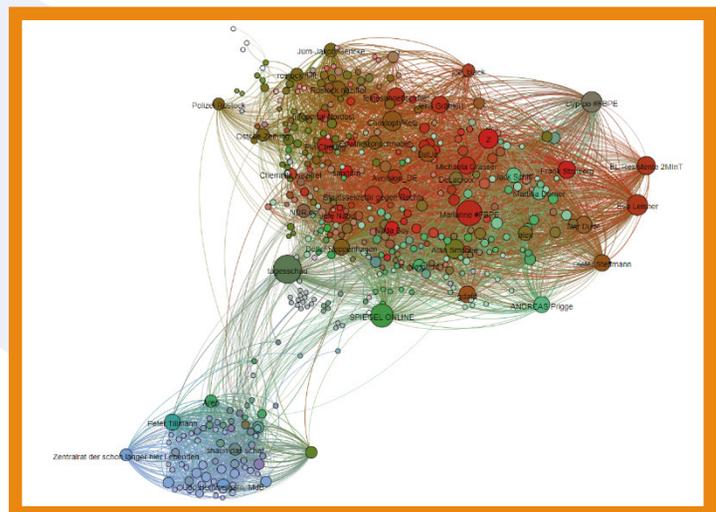


Technische Universität München

Kolbe / Bill / Donaubauer (Hrsg.)

# Geoinformations- systeme 2020

Beiträge zur 7. Münchner GI-Runde



München, März 2020

**Titelgrafik:**

siehe Beitrag *Extraktion und Auswertung von Geodaten aus Sozialen Netzwerken als Element der Bürgerbeteiligung in kommunalen Belangen der Hansestadt Rostock* von Dr. Ferdinand Vettermann (Abb. 2)

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.

© 2020 Runder Tisch GIS e.V.

**Erscheinungsweise**

Digital als PDF unter [www.rundertischgis.de/veranstaltungen/muENCHNER-GI-RUNDE.html](http://www.rundertischgis.de/veranstaltungen/muENCHNER-GI-RUNDE.html)

**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

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>Förderpreis Geoinformatik</b>	
<i>Fackler, Anna-Lena:</i> Nutzung von langzeitigen Datenausschnitten von Bike-Sharing-Diensten für die Definition von Mobilitäts-Hotspots ...	6
<i>Haas, Amelie:</i> Erfassung von Stadtbäumen unter Einsatz von künstlichen Neuronalen Netzen und Fernerkundungsdaten .....	9
<i>Jeznik, Janja:</i> Evaluating geo-tagged Twitter Data to analyse Tourist Flows in Styria .....	14
<i>Laska, Marius:</i> Continuous Learning for Indoor Localization using Crowdsourced Data .....	17
<i>Zeinler, Karl:</i> Fuzzy Viewshed auf Basis des vertikalen Schwinkels zur Bestimmung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen .....	21
<i>Braun, Andreas:</i> Radarsatelliten in humanitärer Mission – Wege von der Wissenschaft in die Praxis .....	27
<i>Dröner, Johannes:</i> Raster Time Series: Learning and Processing .....	32
<i>Vettermann, Ferdinand:</i> Rostock auf Twitter .....	35
<b>Sensors Everywhere</b>	
<i>Willenborg, Bruno und Gackstetter, David:</i> Sensornetzwerke in Stadt und Land - Alternativen zu 5G .....	42
<b>Digitaler Zwilling</b>	
<i>Goldstein, Matthias:</i> Der digitale Zwilling in der Industrie 4.0 .....	45
<b>KI / Deep Learning</b>	
<i>Rottensteiner, Franz:</i> Deep Learning für Anwendungen in Photogrammetrie und Fernerkundung .....	47
<i>Sesselmann, Maximilian; Stricker Ronny; Naber, Thorsten und Scheller Steffen:</i> Automatische Kartierung von Fahrbahnschäden aus Bilddaten eines Mobile Mapping Systems mithilfe von Deep Learning .....	51
<i>Roscher, Ribana:</i> Deep Learning für Anwendungen in den Agrar- und Umweltwissenschaften .....	53
<b>Urbane Indikatoren auf der Grundlage raumbasierter Methoden</b>	
<i>Taubenböck, Hannes:</i> Das Märchen vom globalen Ranking der Stadtgrößen – Wie administrative Raumeinheiten die Realität verzerren .....	55
<i>Prinz, Thomas; Spitzer, Wolfgang und Gadoch Sabine:</i> Räumliche Indikatoren zur Nachverdichtung .....	57
<b>Geodateninfrastrukturen</b>	
<i>Seifert, Markus:</i> Smart Mapping .....	61
<i>Rattmann, Stefan:</i> Cop4ALL NRW - Copernicus für ATKIS®, ALKIS® und Landbedeckung in NRW .....	64
<i>Krause, Kai-Uwe:</i> BIM basierter Bauantrag .....	67

**3D***Engel, Frank:*

Offene 3D-Geodaten in Thüringen ..... 73

*Laschet, Udo und Thiel, Joachim:*

3D-Visualisierung von Starkregenereignissen..... 76

*Bellon, Thomas und Dahmen, Christian:*

Von 2D-Daten der Stadt Sindelfingen in die Dritte Dimension ..... 79

## Vorwort

Der vorliegende Tagungsband ist eine Sammlung der erweiterten Abstracts zur *Münchener Geoinformatik-Runde 2020*, die vom *Runden Tisch GIS e.V.* am 19. und 20. März 2020 an der Technischen Universität München ausgerichtet wurde.

Das Vortragsprogramm der *Münchener GI-Runde 2020* 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 Bauinformatik und Elektrotechnik gewonnen werden konnten. Die erweiterten Abstracts geben einen Überblick über aktuelle Arbeiten und Projekte aus den Bereichen *Internet of Things und Sensornetzwerke*, *Digitaler Zwilling*, *Künstliche Intelligenz / Deep Learning*, *Urbane Indikatoren*, *Geodateninfrastrukturen* sowie *3D-Geodaten und -Methoden*.

Traditionell war eines der Wissenschaftsforen den Finalisten des *Münchener Förderpreises Geoinformatik* gewidmet, so dass 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 Firmenausstellern sowie allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der *Münchener GI-Runde 2020*.

München, im März 2020

Thomas H. Kolbe, Ralf Bill und Andreas Donaubaue

# Nutzung von langzeitigen Datenausschnitten von Bike-Sharing-Diensten für die Definition von Mobilitäts-Hotspots

Anna-Lena FACKLER

Lehrstuhl für Verkehrstechnik · Technische Universität München · Arcisstr. 21 · 80333 München  
E-Mail: anna-lena.fackler@tum.de

## 1 Einführung ins Thema

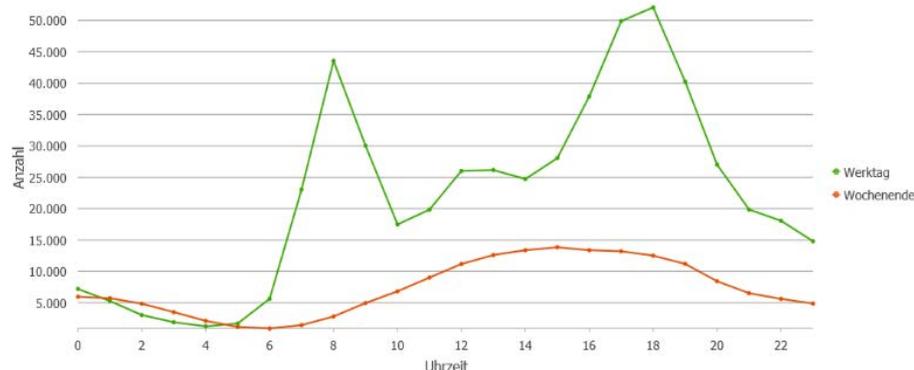
Fahrradverleihsysteme (FVS) sind ein wichtiger Bestandteil unserer modernen, urbanen Mobilität. Aufgrund der Flexibilität dieses individuellen Verkehrsmittels ist eine breite Verteilung der Ausleihen im Raum möglich und es entstehen komplexe Nutzungsmuster. Mit Geoinformationssystemen durchgeführte Analysen können verschiedene Facetten der vielschichtigen Informationen, die in den Daten von Fahrradverleihsystemen liegen, herausgearbeitet werden. In dem Forschungsbereich gibt es eine wachsende Zahl an Studien, die jedoch meist die Flottenverteilung und Umverteilungsmaßnahmen betrachten. Für Verkehrsplaner sind auch zeitliche und ortstypische Charakteristika des Verkehrsverhaltens sowie Quell-Ziel-Beziehungen der Nutzer von großem Interesse. Des Weiteren sind die Einflüsse der Umgebung, der Nutzergruppen sowie des ÖPNV interessant.

In der vorliegenden Studie wurden mittels der Anwendung eines Geoinformationssystems und anhand von unterschiedlichen Analysemöglichkeiten diese Aspekte mit besonderer Betrachtung von stark nachgefragten Standorten untersucht und auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Ein Überblick zu Analysen von FVS und deren in der Literatur aufgezeigten Einflussfaktoren sowie relevante Fahrttypen und Einflussfaktoren werden dargelegt, ebenso wie eine breite interdisziplinäre Betrachtung der aufgeführten Untersuchungsmöglichkeiten. Die Analyse deckt Muster im räumlichen und zeitlichen Rahmen in verschiedenen aggregierten Betrachtungen auf. Abschließend werden die Ergebnisse der umfassenden Datenanalyse und die betrachteten Einflussparameter mit denen der Literatur in Bezug gesetzt. Künftig werden immer mehr Daten von Sharing-Systemen mit stationsloser und damit großer räumlicher Ausbreitung erzeugt werden, die wertvolle Informationen enthalten. Diese zu nutzen, um die Fülle an Informationen herauszuarbeiten, will die Arbeit anregen. Die Ergebnisse und Informationen über Bewegungsmuster stellen einen großen Mehrwert für Fachplaner dar und können sowohl eine Chance für moderne Mobilitätsformen als auch den öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) sein.

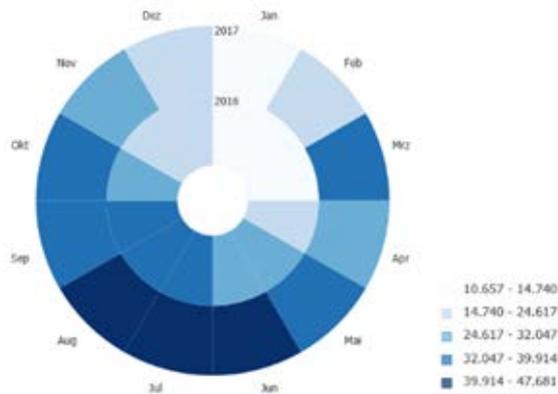
## 2 Zusammenfassung

Datengrundlage dieser Arbeit sind die Quell- und Zielpunkte mit Zeitstempel der Ausleihen des FVS „MVG Rad“ in München aus den Jahren 2016 und 2017, zur Verfügung gestellt von der SWM GmbH. Das hybride FVS erlaubt stationäre und freie Ausleihen der Leihräder innerhalb des Geschäftsgebietes, wobei die Kombination eine Besonderheit darstellt und neue Ansätze bei der Analyse erfordern. Die rund 800.000 Rohdaten wurden räumlich und zeitlich gefiltert und insgesamt konnten über 85 % der Rohdaten für die Analyse verwendet werden.

In der vorliegenden Arbeit werden die Analyse sowie die Ableitung von Ergebnissen in mehrere Schritte unterteilt. Die zeitliche Verteilung der Nachfrage wird in unterschiedlich aggregierten Zeiträumen untersucht und verschieden visualisiert, um z.B. tageszeitabhängige und saisonale Schwankungen abbilden zu können. Die räumliche Untersuchung wird zunächst mithilfe der Kerndichteschätzung (*Kernel-Density-Estimation*) im freien Geschäftsgebiet durchgeführt. Anschließend wird das gesamte Stadtgebiet mit einer Aufteilung in Stationsgebiete, die mit Thiessen-Polygonen um die MVG-Rad-Stationen angelegt werden, untersucht. Bei der räumlichen Analyse werden unterschiedliche Zeitfenster sowie Quell-Ziel-Beziehungen und weitere Eigenschaften wie Ausleihdauer untersucht und visualisiert.



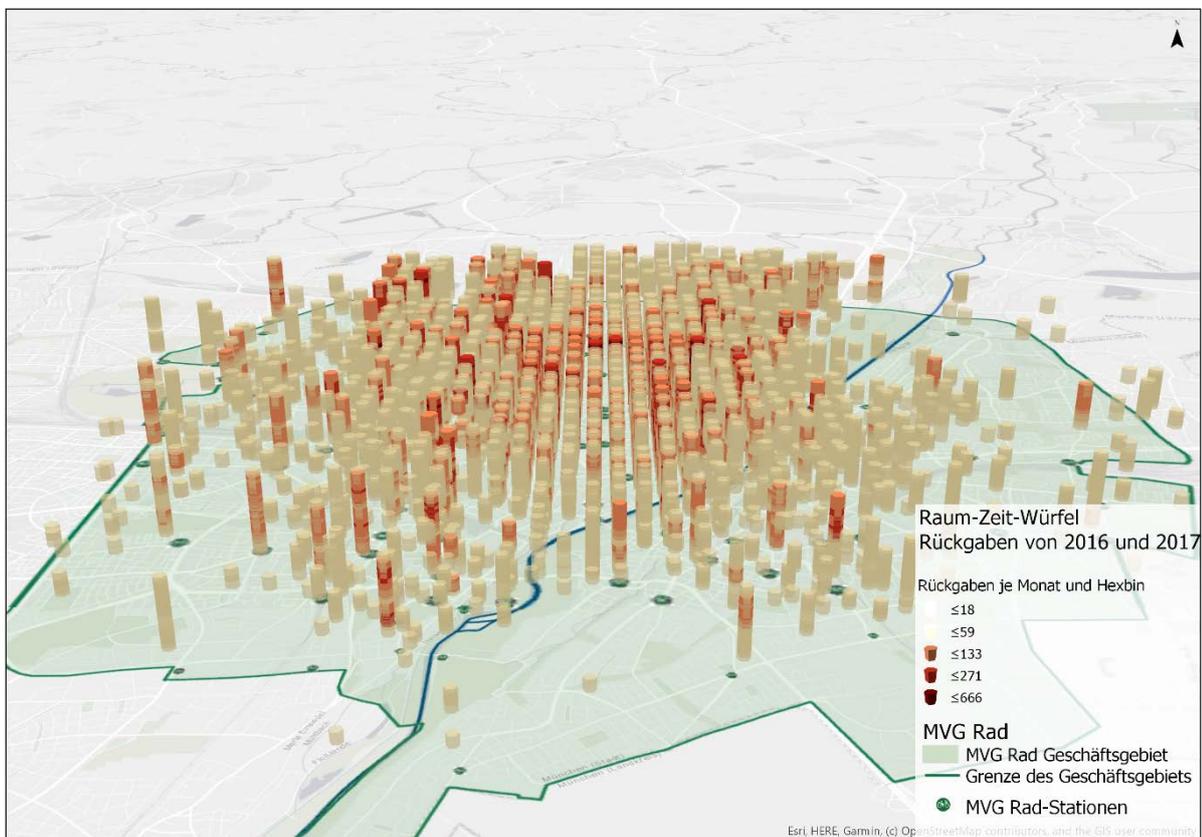
**Abb. 1:** Stündliche Nachfrage über einen Tag in Werktag und Wochenende getrennt dargestellt.



**Abb. 2:**  
 Monatliche Nachfrage übers Jahr gesehen.

Dem wird eine räumlich-zeitlich kombinierte Betrachtung mittels Raum-Zeit-Würfeln (*Space-Time-Cubes*) angeschlossen. Diese Untersuchung wird einmal anhand der Stationsgebiete und dann unter Einbezug eines hexagonalen Rasters, sogenannter Hexbins, durchgeführt. Stark nachgefragte Gebiete und Orte werden lokalisiert und charakterisiert. Es werden Grenzwerte für die detaillierte Betrachtung von stark nachgefragten Orten definiert sowie Veränderungen der Nachfrage über die einzelnen Gebiete im zeitlichen Verlauf visuell dargestellt und analysiert. Zudem werden die Muster auf temporäre, räumliche und nutzerbedingte Einflüsse untersucht. Die hier aufgedeckten Bewegungsmuster von FVS spiegeln eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten und Einflüssen wider.

Besonders stark scheint neben den lokalen Einflussfaktoren und saisonalen Schwankungen der Einfluss der Hauptnutzergruppen. Konkludierend kann man auf die intermodale Nutzung der FVS zum ÖPNV als Verkehrsmittel der ersten und letzten Meile schließen. Die gewonnen Erkenntnisse fließen in die Definition von Mobilitäts-Hotspots für FVS mit ein. Diese werden klassifiziert und deren mögliche Parameter dargelegt. Die Arbeit zeigt, dass eine Aneinanderreihung verschiedener Analysen im Geoinformationssystem zu einem guten Verständnis der Bewegungsmuster und deren Einflüsse führen kann, und dass hier ein großes Potenzial für folgende Forschungsarbeiten sowie für eine Übertragung des Vorgehens auf aktuelle und zukünftige Sharing-Dienste vorhanden ist.



**Abb. 3:** Die Abbildung zeigt die Nachfrage von „MVG Rad“ im Geschäftsgebiet über zwei Jahre dargestellt in Raum-Zeit-Würfeln, die in Hexbins und Monate eingeteilt sind.

## Literatur

- FROEHLICH, J., NEUMANN, J. & NURIA, O. (2008), Measuring the Pulse of the City through Shared Bicycle Programs, In: Urban Sense 08.
- MCKENZIE, G. (2018), Docked vs. Dockless Bike-sharing: Contrasting Spatiotemporal Patterns. In: GIScience.
- OLIVIERA, G. N., SOTOMAYOR, J. L., TORCHELSEN, R. P., SILVA, C. T. & COMBA, J. L.D. (2016), Visual analysis of bike-sharing systems. In: Computers & Graphics 60, S. 119–129.
- REIB, S. & BOGENBERGER, K. (2017), GPS-Data Analysis of Munich's Free-Floating Bike Sharing System and Application of an Operator-based Relocation Strategy. Bundeswehr Universität München. In: IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, S. 584–589.
- VOGEL, P., GREISER, T. & MATTFELD, D. C. (2011), Understanding Bike-Sharing Systems using Data Mining: Exploring Activity Patterns. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences 20, S. 514–523.
- XU, Y., CHEN, D., ZHANG, X., TU, W., CHEN, Y., SHEN, Y., & RATTI, C. (2019), Unravel the Landscape and Pulses of Cycling Activities From A Dockless Bike-Sharing System. In: Computers Environment and Urban Systems.

# Erfassung von Stadtbäumen unter Einsatz von künstlichen Neuronalen Netzen und Fernerkundungsdaten

Amelie HAAS

Professur für Geoinformatik · Technische Universität Dresden · Helmholtzstr. 10 · 01690 Dresden  
E-Mail: amelie.haas@infraconsult.de

## 1 Thematische Einführung

Die Sicherung der Lebensqualität in urbanen Räumen stellt vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels und der Urbanisierung eine immer größere Herausforderung dar. Stadtbäume spielen dabei u. a. aufgrund ihrer vielfältigen Effekte auf das lokale Klima eine wichtige Rolle (FAO 2016). Daher sind Informationen über diese Ressource für Verantwortungsträger in Stadt- und Raumplanung eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Während eine Erhebung vor Ort zeit-, arbeits- und kostenintensiv ist, sind große Mengen an (optischen) Fernerkundungsdaten immer leichter verfügbar. Entscheidend für eine effiziente Nutzung dieser Daten ist die Anwendung geeigneter Methoden bzw. die Entwicklung entsprechender Werkzeuge zur automatisierten Auswertung und Ableitung relevanter Inhalte. Im Zusammenhang mit der Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen sind insbesondere Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens derzeit Gegenstand intensiver Forschung (LANTZ 2013).

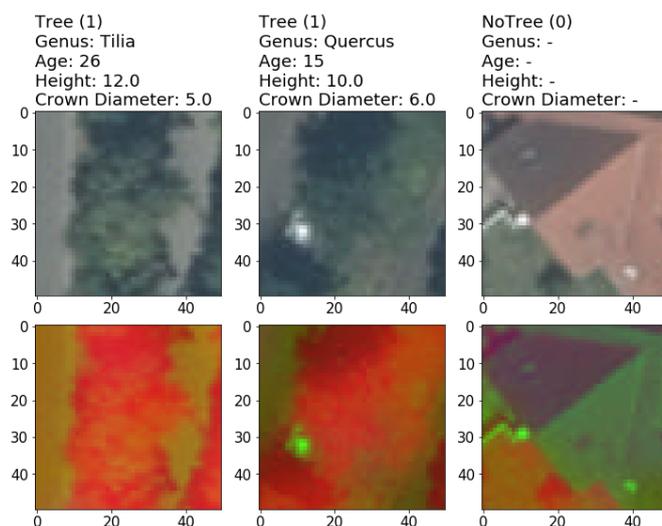
In dieser Arbeit wird die Eignung künstlicher Neuronaler Netze bzw. *convolutional neural networks* (CNNs) zur Ableitung von Informationen über Bäume in urbanen Gebieten aus Fernerkundungsdaten (digitale Orthophotos sowie digitale Gelände- und Oberflächenmodelle) untersucht. Dazu wird auf Basis des Straßenbaumkatasters der Stadt Leipzig ein klassifizierter Datensatz für das Training und die Evaluation drei verschiedener CNNs mit je drei Eingabeformaten (24x24, 50x50 und 100x100 Pixel) erstellt.

## 2 Pilotstudie zur Erfassung von Stadtbäumen

### 2.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage stehen digitale Orthophotos (DOPs, aufgenommen am 01.07.2015) mit einer räumlichen Auflösung von 20 cm und Rot-, Grün-, Blau- und Infrarotwerten (R, G, B, IR) sowie ein digitales Gelände- und Oberflächenmodell (DGM, DOM) mit einer Auflösung von jeweils 2 m zur Verfügung. Diese umfassen den Großraum der Stadt Leipzig. Des Weiteren wird das, um zusätzliche Informationen angereicherte, frei verfügbare Straßenbaumkataster der Stadt Leipzig genutzt (STADT LEIPZIG 2018). Dieses enthält insgesamt ca. 60.000 Baumstandorte, wobei ca. ein Drittel (16.406) davon zur Erstellung von Beispieldaten (*examples*) genutzt wird.

Als Eingaberaster werden die NDVI-Werte (berechnet aus R und IR, CONGALTON & GREEN 1999), die Werte des grünen Kanals der DOPs (G) und die nDOM-Werte ("normalisiertes" DOM, Differenz aus DOM und DGM) gewählt. Diese werden auf eine einheitliche Auflösung von 20 cm gebracht (*resampling*, bilineare Interpolation). Auf Basis des bereits erwähnten Straßenbaumkatasters werden schließlich quadratische Ausschnitte in verschiedenen Formaten (24x24, 50x50 und 100x100 Pixel) daraus extrahiert und mit verschiedenen Zielwerten (*labels*) gekennzeichnet (in Abb. 1 exemplarisch dargestellt).



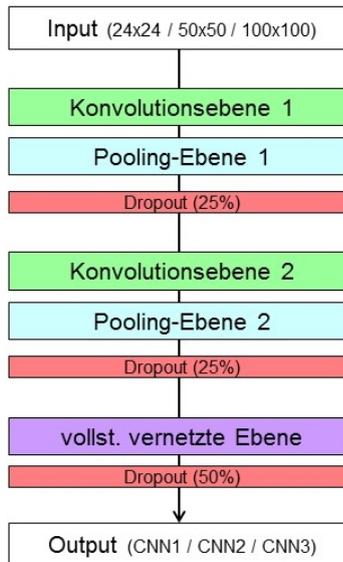
**Abb. 1:** Beispieldaten (*examples*) für das Eingabeformat 50x50 Pixel; jeweils in Echt- (RGB, obere Reihe) und Falschfarbendarstellung (R=NDVI, G=Grün, B=nDOM; untere Reihe) (Quelle: GEOSN 2015, eigene Bearbeitung).

Der Großteil (Evaluations- und Trainingsdaten, insgesamt 90%) dieser Beispiele wird für das Training der CNNs verwendet; die übrigen Daten (Testdaten, 10%) dienen der Modellevaluation.

## 2.2 Architektur, Training und Anwendung der CNNs

Insgesamt werden für jedes der drei Formate drei verschiedene CNNs mit unterschiedlichen Ausgaben (Zielvariablen, *targets*) entwickelt. Das erste Modell (CNN1) ist auf die Auswahl von Bildausschnitten, die Bäume bzw. Baumkronen enthalten, spezialisiert. Ein weiteres Modell (CNN2) dient der Klassifikation der Baumgattung. Mit Hilfe eines Regressionsmodells (CNN3) werden außerdem Baumhöhe, -alter und Kronendurchmesser geschätzt.

Alle Modelle beruhen grundsätzlich auf der gleichen Architektur (Abb. 2). Diese umfasst je zwei Konvolutions- und *Pooling*-Ebenen, eine vollständig vernetzte Ebene und eine oder mehrere Ausgabeebene(n). Unterschiede ergeben sich aufgrund der verschiedenen Eingabeformate bzw. Zielvariablen.



**Abb. 2:**  
Grundlegende Architektur der CNNs.

Für jedes der neun Modelle werden, neben dem *dropout*-Verfahren (SRIVASTAVA et al. 2014), insgesamt zehn verschiedene Trainings- bzw. Regularisierungsmethoden verglichen, darunter die *data augmentation*-Technik, eine  $L_1$ - sowie eine  $L_2$ -Regularisierung und eine Reduktion der Anzahl der Neuronen. Auf Basis einer Evaluation anhand der Testdaten werden anschließend alle Modelle verglichen und die für die spätere Anwendung am besten geeigneten CNNs ausgewählt.

Diese werden auf ein 1 km<sup>2</sup> großes Testgebiet angewendet, das mit Suchfenstern in den verschiedenen Eingabeformaten (24x24, 50x50 und 100x100 Pixel) abgetastet wird. Dieser Ansatz entspricht laut GIRSHICK et al. (2013, 2) einem auch in anderen Arbeiten häufig gewählten Verfahren (vgl. u. a. SEVO & AVRAMOVIC 2016). Die jeweils extrahierten Bildausschnitte werden zunächst an CNN1 übergeben. Auf diese Weise kann eine grobe Lokalisierung einzelner Bäume erfolgen, indem Fensterpositionen, in denen die Ausgabe einen bestimmten Schwellenwert (hier 0,98) überschreitet, als Baumstandorte angenommen werden. Positiv klassifizierte Bildausschnitte (d. h. mit detektierter Baumkrone) werden anschließend an CNN2 zur Klassifikation der Baumgattung sowie an CNN3 zur Schätzung der Baumhöhe, des -alters und des Kronendurchmessers übergeben.

## 2.3 Ergebnisse und Diskussion

Um die Modellgüte der trainierten CNNs zu ermitteln, werden diese zunächst anhand der Testdaten evaluiert (Tabelle 1). Das erste Modell (CNN1) weist dabei eine sehr hohe Vorhersagegenauigkeit von bis zu 99% auf. Für das Modell zur Klassifikation der Baumgattung (CNN2) werden Gesamtgenauigkeiten von bis zu 72% erzielt. Das Regressionsmodell zur Schätzung von Baumalter, -höhe und Kronendurchmesser (CNN3) erreicht Fehlerwerte (*root mean squared error*, *RMSE*) von bis zu 10 a, sowie bis zu 2 m bzw. 1 m für die genannten Zielvariablen.

Die Modellausgaben für das Testgebiet werden visuell und statistisch ausgewertet und auf Plausibilität überprüft, da nicht alle darin vorhandenen Baumstandorte im zur Verfügung stehenden Straßenbaumkataster erfasst und somit keine entsprechenden Referenzdaten verfügbar sind.

Die Lokalisierung einzelner Bäume anhand der Ausgaben von CNN1 funktioniert für Einzelbäume deutlich besser als in Bereichen mit zusammenhängenden bzw. überlappenden Baumkronen (Abb. 3). Ein Grund hierfür kann die Zusammensetzung der Beispieldaten sein, die zum größten Teil freistehende Straßenbäume umfassen. Die Modelle sind in der Folge für dieses Erscheinungsbild am besten trainiert.

Bei der Klassifikation der Baumgattung (Ausgaben von CNN2) zeigt sich, dass fast ausschließlich die in den Beispieldaten am häufigsten vertretene Gattung (Linde / *Tilia*) vorhergesagt wird (Abb. 4). Dabei ist zu erwähnen, dass die Modellauswahl in dieser Arbeit auf Grundlage der erzielten Gesamtgenauigkeit (*overall accuracy*, Anteil der korrekt klassifizierten Beispiele) für die Testdaten erfolgt. Zur Bewertung gattungsspezifischer Vorhersagegenauigkeiten muss eine detaillierte Untersuchung der Konfusionsmatrix jedes Modells erfolgen, auf deren Basis für bestimmte Anwendungsfälle ggf. andere Modelle ausgewählt werden können.

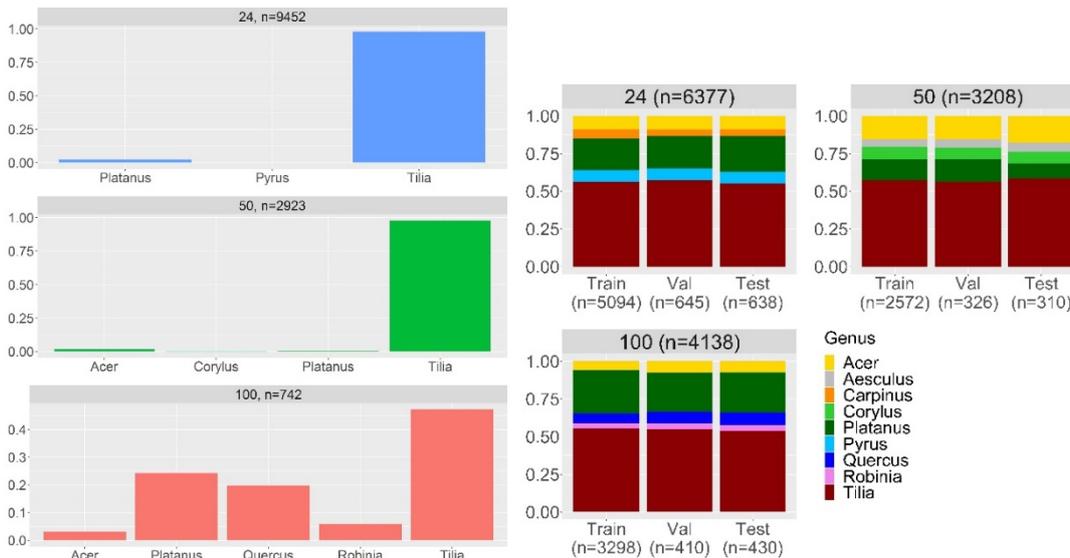
In Bezug auf die Ausgaben von CNN3 (Baumhöhe, -alter und Kronendurchmesser; letztere sind exemplarisch dargestellt in Abb.5) ist zu erkennen, dass die Modellausgaben für die verschiedenen Eingabeformate jeweils Häufungen in bestimmten Wertebereichen aufweisen. Auch hier kann ein Zusammenhang zur Verteilung der Zielvariablen in den Beispieldaten hergestellt werden, d. h. Werte, die in den Trainingsdaten häufig vorkommen, werden auch bei der Anwendung auf neue Daten häufiger vorhergesagt.

**Tabelle 1:** Genauigkeiten bzw. Fehlerwerte der jeweils besten Modelle für die drei Eingabeformate.

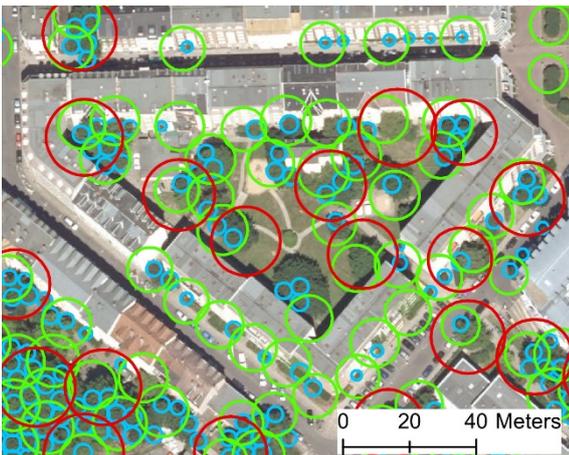
Modell	Format [Pixel]	Trainingsvariante	RMSE		
			Kr.d. [m]	Höhe [m]	Alter [a]
CNN1	24x24	50% Reduktion	overall accuracy [%]		
	50x50	25% Reduktion	97		
	100x100	Original	98		
CNN2	24x24	25% Reduktion	99		
	50x50	50% Reduktion	69		
	100x100	25% Reduktion	65		
CNN3	24x24	50% Reduktion	1	1,8	9
	50x50	25% Reduktion	1,5	3	28
	100x100	50% Reduktion	2,2	3,6	31



**Abb. 3:** Aus den Ausgaben von CNN1 abgeleitete Baumstandorte im Testgebiet für verschiedene Eingabe- bzw. Suchfensterformate: blau = 24x24 Pixel, grün = 50x50 Pixel, rot = 100x100 Pixel (Quelle: GEOSN 2015, eigene Bearbeitung).



**Abb. 4:** Vorhergesagte Baumarten (Ausgaben von CNN2 in den drei Eingabeformaten) für das Testgebiet (links) und Verteilung der Baumgattungen in den Beispieldaten (rechts, jeweils Trainings-, Evaluations- und Testdaten für die drei Eingabeformate).



**Abb. 5:** Von CNN3 für einen Ausschnitt des Testgebiets vorhergesagte Kronendurchmesser, als Kreise dargestellt für die für die verschiedenen Eingabe- bzw. Suchfensterformate: blau = 24x24 Pixel, grün = 50x50 Pixel, rot = 100x100 Pixel (Quelle: GEOSN 2015, eigene Bearbeitung).

## 2.4 Fazit und Ausblick

Das große Potenzial von CNNs zur Auswertung von Bild- bzw. Rasterdaten im Fernerkundungskontext wurde bereits in anderen Arbeiten beschrieben (vgl. u. a. SIMONYAN & ZISSERMAN 2014; CASTELLUCCIO et al. 2015; HU et al. 2015; PENATTI et al. 2015; LÄNGKVIST et al. 2016). Die Ergebnisse dieser als Pilotstudie angelegten Arbeit bestätigen, dass CNNs als generische Werkzeuge nicht nur zur Klassifikation (CNN1, CNN2), sondern auch zur Ableitung numerischer Informationen (CNN3) geeignet sind.

Als limitierender Faktor für die Modellentwicklung (sowohl das Training als auch die Evaluation der CNNs) erweist sich in dieser Arbeit nicht nur die begrenzte Anzahl, sondern vor allem auch die ungleiche Verteilung der untersuchten Zielvariablen in den Beispieldatensätzen. In Bezug auf die Datengrundlage erscheint außerdem die Verwendung von Orthophotos aufgrund der darin vorhandenen Verkippungseffekte als problematisch, da eine sehr zeitaufwändige Korrektur der Baumstandorte erforderlich ist, um diese für die Extraktion der Beispieldaten nutzen zu können. Des Weiteren muss der in dieser Arbeit als Baumstandort angenommene Mittelpunkt der in den DOPs zu erkennenden Baumkronen aufgrund der Wuchsrichtung bzw. der Orientierung des Stamms nicht der exakten Position des Baumes auf Höhe der Geländeoberfläche entsprechen.

Die im Rahmen dieser Pilotstudie gewonnenen Erkenntnisse können als Basis für weitere Untersuchungen genutzt werden. Um die Eignung von CNNs für den beschriebenen Anwendungsfall besser beurteilen zu können, sind Vergleiche des entwickelten Verfahrens mit bereits existierenden Methoden, beispielsweise der Bildsegmentierung, Maximum-Li-

kelihood-Klassifikationen oder *random forest* Ansätzen anzustellen. Außerdem kann eine Vergrößerung bzw. Diversifizierung der Datenbasis weitere Erkenntnisse liefern. So wurde für diese Pilotstudie beispielsweise nur eine kleine Auswahl von Baumgattungen untersucht. In diesem Zusammenhang ist auch die Übertragbarkeit des beschriebenen Ansatzes auf andere Daten (weitere Gebiete, Aufnahmezeitpunkte der DOPs, Zielvariablen, etc.) zu prüfen.

CNNs könnten in der Zukunft sowohl die Erstellung neuer als auch die Pflege bestehender Baumkataster vereinfachen und evtl. sogar eine (vollständige) Automatisierung ermöglichen.

## Literatur

- CASTELLUCCIO, M., POGGI, G., SANSONE, C. & VERDOLIVA, L. (2015), Land Use Classification in Remote Sensing Images by Convolutional Neural Networks.
- CONGALTON, R. G. & GREEN, K. (1999), Assessing the accuracy of remotely sensed data. Principles and practices. Lewis, Boca Raton, Fla.
- FAO (2016), Building greener cities: nine benefits of urban trees. Find out why trees in cities matter. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/454543/> (09.12.2018).
- GEOSN (2015), Digitale Orthophotos (20 cm).
- GIRSHICK, R., DONAHUE, J., DARRELL, T. & MALIK, J. (2013), Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation.
- HU, F., XIA, G.-S., HU, J. & ZHANG, L. (2015), Transferring Deep Convolutional Neural Networks for the Scene Classification of High-Resolution Remote Sensing Imagery. In: Remote Sensing, 7 (11), 14680–14707, doi: 10.3390/rs71114680.
- LÄNGKVIST, M., KISELEV, A., ALIREZAIE, M. & LOUTFI, A. (2016), Classification and Segmentation of Satellite Orthoimagery Using Convolutional Neural Networks. In: Remote Sensing, 8 (4), doi: 10.3390/rs8040329.
- LANTZ, B. (2013), Machine Learning with R. Packt Publishing, Birmingham.
- PENATTI, O. A. B., NOGUEIRA, K. & DOS SANTOS, J. A. (2015), Do deep features generalize from everyday objects to remote sensing and aerial scenes domains? In: 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). IEEE, 44–51, doi: 10.1109/CVPRW.2015.7301382.
- SEVO, I. & AVRAMOVIC, A. (2016), Convolutional Neural Network Based Automatic Object Detection on Aerial Images. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 13 (5), 740–744, doi: 10.1109/LGRS.2016.2542358.
- SIMONYAN, K. & ZISSERMAN, A. (2014), Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition.
- SRIVASTAVA, N., E. HINTON, G., KRIZHEVSKY, A., SUTSKEVER, I. & SALAKHUTDINOV, R. (2014), Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. In: Journal of Machine Learning Research, 15, 1929–1958.
- STADT LEIPZIG (2018), Straßenbaumkataster Leipzig, nicht veröffentlicht.

# Evaluating geo-tagged Twitter Data to analyse Tourist Flows in Styria

Janja JEZNIK

Institut für Geodäsie · Technische Universität Graz · Steyrergasse 30 · 8010 Graz

E-Mail: janja.jeznik@gmail.com

## 1 Introduction

Crowdsourced data from social media (e.g. Twitter) play a growing role in a contemporary research. With bringing in both the spatial and semantic component, they are a valuable data source in different fields – also for tourism purposes. Spatially to detect touristic hot spots in a research area, and semantically to employ opinion mining. Following this hypothesis, the research tries to answer the question whether social media data are capable of detecting tourism related patterns and be a valuable source for decision support for tourism managers.

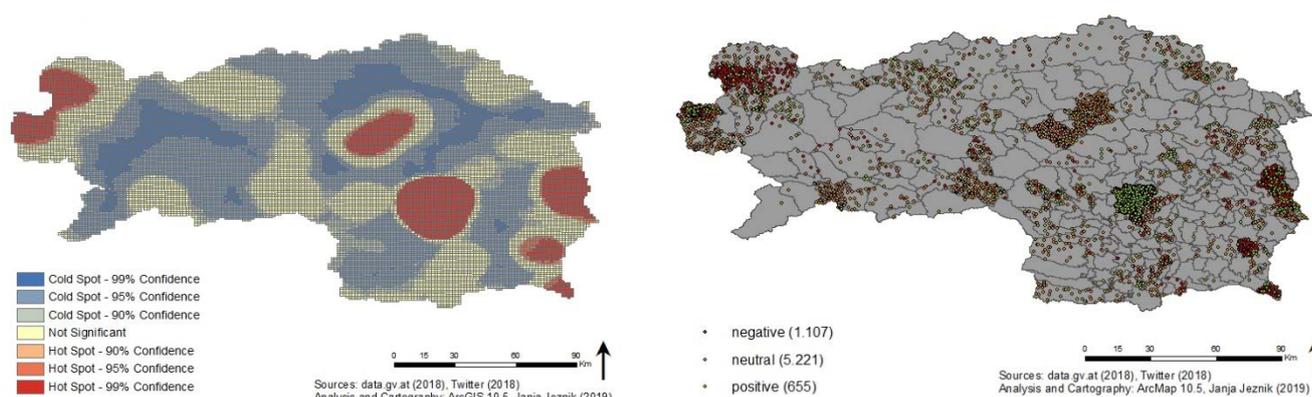
## 2 Abstract

### 2.1 Twitter as Geo-data

The research focuses on detecting tourist flows in the Province of Styria in Austria. The Twitter data were collected in the time range from 2008 until August 2018. Extracted tweets were submitted to an extensive filtering process within NoSQL database MongoDB in order to yield a clean dataset on a municipality level with a high touristic semantic relevance. Hotspot Analysis and Kernel Density Estimation methods were applied to investigate spatial distribution of tourism relevant tweets under temporal variations. Furthermore, employing the VADER method an integrated semantic analysis utilizes sentiments of extracted tweets. Detected positive, neutral and negative sentiment brings forward the advantages of text analysis for decision support in the tourism sector on a local level.

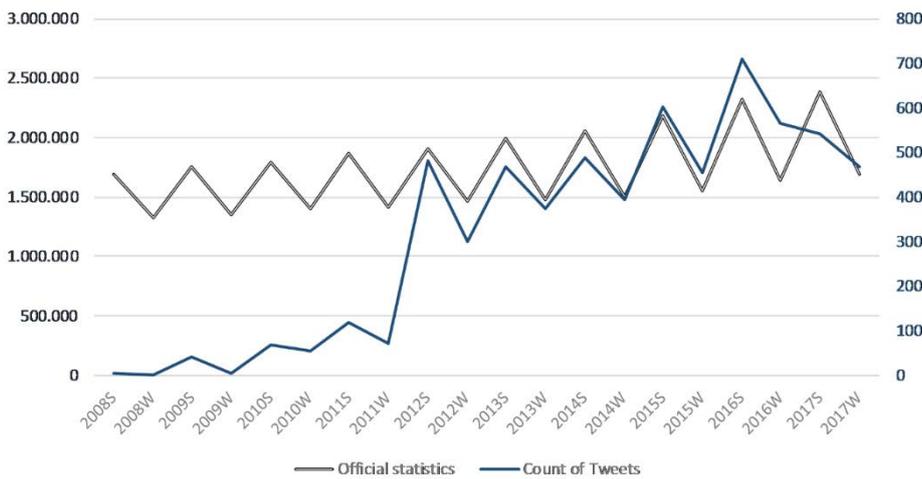
For evaluation purposes, the official tourism data from the Province of Styria and federal Statistical Office of Austria played a role of ground truth data. Correlation between Twitter and reference data was analysed in whole Styria, as well as also at district level and considering the year-round and seasonal development.

### 2.2 Evaluation

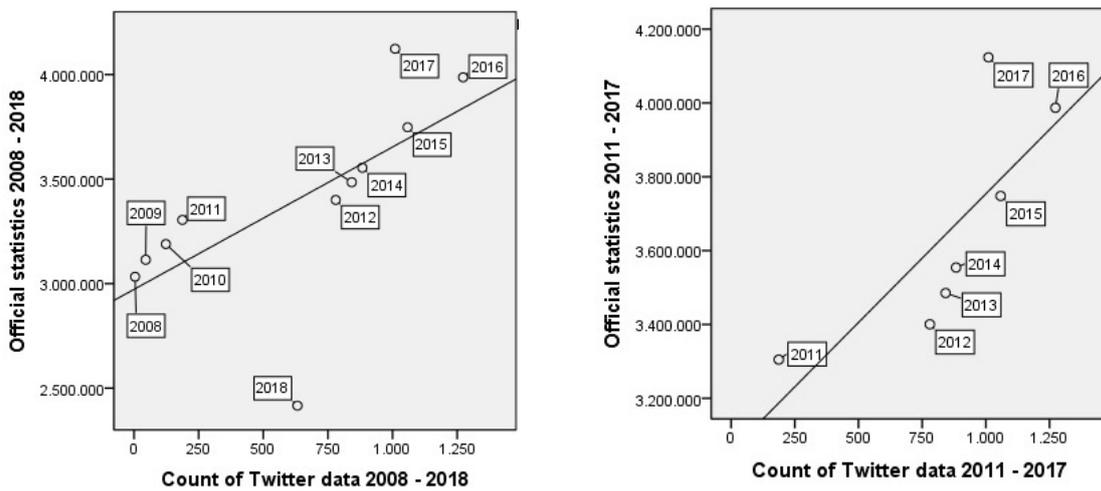


**Abb. 1:** Hot Spot Analysis (left) and Sentiment Analysis (right).

Detected Hotspots correspond to typical Styrian touristic areas, covering main cities as well as mountainous and thermal municipalities. Sentiment analysis was mainly successful, but it also pointed out a problematic aspect of working with multilingual data – Tweets in thermal municipalities containing a name “Bad” got determined as negative sentiment.



**Abb. 2:** Growth of arrivals vs. count of tweets through touristic seasons. Few years after start of Twitter existence, the similarity pattern between reference and Twitter data is growing bigger.



**Abb. 2:** Moderate to strong correlation at annual level in Styria.

For statistical evaluation, a correlation analysis with Pearson’s correlation coefficient was employed. The overall correlation between annual arrivals in reference data and tweets is statistically significant. A moderate correlation with a coefficient of 0.65 takes place if 11 years in the row are observed – from 2008 to the middle of 2018. Due to low count of Twitter data up to year 2010, a repeated analysis of data between 2011 and 2017 results even stronger correlation (Pearson coefficient: 0.77).

District and seasonal (winter vs. summer) analysis shows a strong correlation of those districts that act as touristic hotspots. However, spatial depth of such analysis reaches its limits at a district level, since correlations in regions with low tourism or a stark focus on one season gets low to moderate.

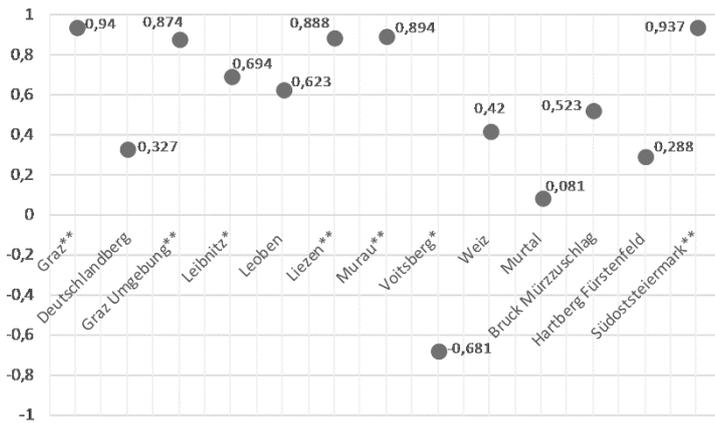


Abb. 4: Pearson's Coefficient at district level (2011-2017).

## Literature

- TASPINAR, A. (Jul. 10, 2018), Twitterscraper, [Online]. Available: <https://github.com/taspinar/twitterscraper>.
- HAWELKA, B., SITKO, I., BEINAT, E., SOBOLEVSKY, S., KAZAKOPOULOS, P., & RATTI, C. (2014), "Geo-located twitter as proxy for global mobility patterns," *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 41, no. 3, pp. 260–271.
- SILVERMAN, B. W. (1986), Ed., *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. London, New York, Chapman and Hall: University of Bath, UK, Chapman and Hall/CRC.
- GOODCHILD, M. F. (2007), "Citizens as sensors: The world of volunteered geography," *GeoJournal*, vol. 69, no. 4, pp. 211–221.
- STEINERT-THRELKELD, Z. C. (2018), Ed., *Twitter as Data*. Los Angeles: University of California, Cambridge University Press. [Online]. Available: [https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridgecore/content/view/27B3DE20C22E12E162BFB173C5EB2592/9781108438339AR.pdf/twitter\\_as\\_data.pdf](https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridgecore/content/view/27B3DE20C22E12E162BFB173C5EB2592/9781108438339AR.pdf/twitter_as_data.pdf).

# Continuous Learning for Indoor Localization using Crowdsourced Data

Marius LASKA<sup>1</sup>, Jörg BLANKENBACH<sup>1</sup> und Ralf KLAMMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geodätisches Institut und Lehrstuhl für Bauinformatik & Geoinformationssysteme · RWTH Aachen Universität · Mies-van-der-Rohe-Str. 1 · 52074 Aachen

E-Mail: marius.laska@gia.rwth-aachen.de, blankenbach@gia.rwth-aachen.de

<sup>2</sup>Advanced Community Information Systems · Lehrstuhl Informatik 5 · RWTH Aachen Universität · Ahornstr. 55 · 52074 Aachen  
E-Mail: klamma@dbis.rwth-aachen.de

## 1 Einführung

Ortsbasierte Dienste finden Anwendung in einer Vielzahl der heutigen Smartphone-Applikationen, zum Beispiel zur Personennavigation oder zur positionsabhängigen Suche. Die zugrundeliegende Technologie ist in der Regel ein globales Navigationssatellitensystem (GNSS). Innerhalb von Gebäuden ist dessen Anwendung allerdings kaum möglich, da die Signale durch Gebäudebestandteile zerstreut und gedämpft werden. Die Suche nach alternativen Technologien zur Indoor-Positionierung stellt nach wie vor eine offene Forschungsfrage dar. Die Herausforderung besteht darin, insbesondere für Massenmarktanwendungen zur Personenlokalisierung, eine genaue und robuste Standortbestimmung zu erreichen ohne hohe Installations- oder Hardwarekosten zu verursachen (BASIRI et al. 2017).

Für die Indoor-Positionierung werden derzeit verschiedene Technologien verfolgt (ZAFARI, GKELIAS & LEUNG 2019). Mittels inertialer Messeinheiten (Beschleunigungssensor, Magnetometer und Gyroskope), welche in heutigen Smartphones verbaut sind, lässt sich eine Positionsbestimmung nach dem Prinzip der Koppelnavigation ausgehend von einer initialen Position und Orientierung realisieren. Durch fortlaufende Bestimmung der Orientierungsänderung und der zurückgelegten Schritte lässt sich die Position des Nutzers kumulierend bestimmen. Aufgrund von Drifteffekten der Sensoren resultiert daraus jedoch eine hohe Fehlerfortpflanzung. Weitere Ansätze basieren auf der Nutzung einer Positionierungsinfrastruktur aus Sendern und Empfängern im Bauwerk, welche beispielsweise auf Grundlage von Funkverfahren Signale austauschen. Durch Laufzeit-, Laufzeitdifferenz- oder Winkelmessung kann so die Position einer Mobilstation bestimmt werden. Dazu muss die Positionierungsinfrastruktur jedoch sorgfältig geplant, installiert und gewartet werden, wodurch erhebliche Kosten entstehen.

Ein alternativer Ansatz zur Senkung der Kosten und des Installationsaufwandes stellt das Fingerprinting dar (HE & CHAN 2016). Hierbei werden existierende Radiofrequenz-Geräte genutzt, wie zum Beispiel WLAN Access Points. Die zugrundeliegende Annahme ist, dass jede Position innerhalb des Gebäudes einen charakteristischen Fingerprint aufweist, der sich aus den gemessenen Signalstärken zu wahrnehmbaren Access Points zusammensetzt. Diese Fingerprints werden für ausgewählte Referenzpunkte in einer vorgelagerten Offline-Phase gesammelt. Durch das Erlernen des Zusammenhangs zwischen Fingerprints und deren Aufzeichnungposition, lässt sich auf die Position von unbekanntem Fingerprints rückschließen, wodurch die Innenraumlokalisierung in der Online-Phase ermöglicht wird (vgl. Abb. 1). Die erreichte Positionierungsgenauigkeit hängt hierbei stark von der Qualität, der Flächendeckung und der Aktualität der Fingerprints aus der Offline-Phase ab.

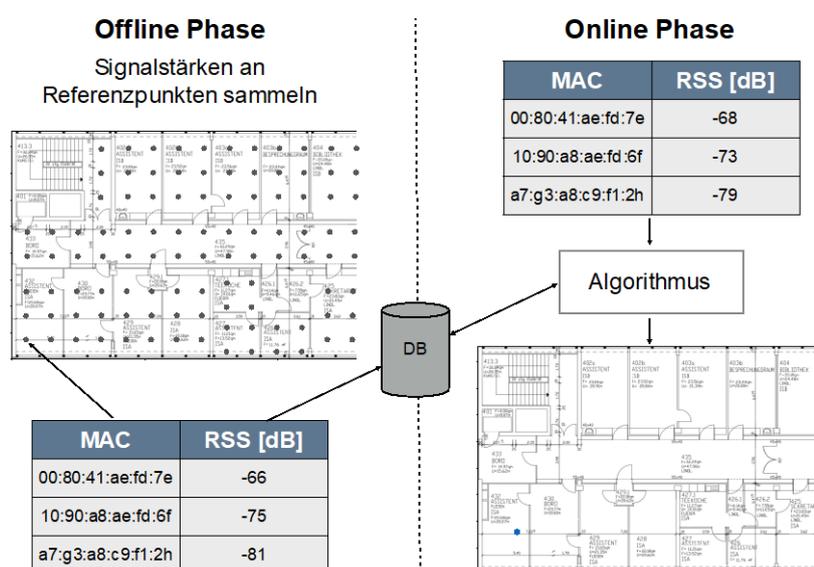


Abb. 1: Funktionsweise WLAN Fingerprinting.

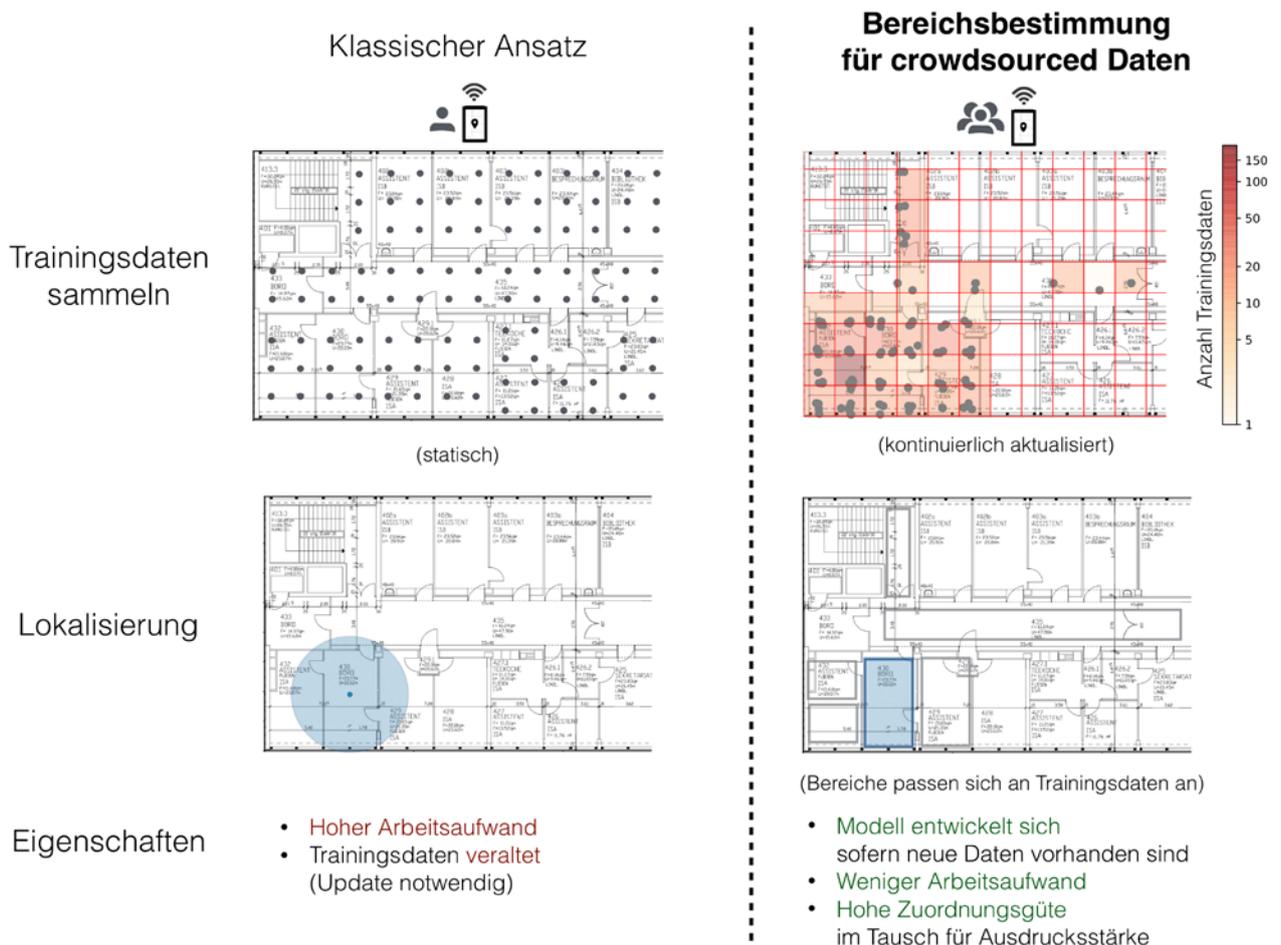
Um den Aufwand des manuellen Sammelns von Fingerprints zu reduzieren und gleichzeitig eine stets aktuelle Datenbasis zu gewährleisten, bietet sich Crowdsourcing an. Während des Crowdsourcings werden die Fingerprints, im Gegensatz zur klassischen Kalibrierungsphase, ohne explizite Anweisungen von einer Vielzahl an Nutzern gesammelt (JIANG et al. 2016). Dies wirkt sich jedoch negativ auf die Datenqualität aus. Betroffen ist vor allem die räumliche Verteilung der Fingerprints, welche starke Schwankungen verzeichnen kann (YE & WANG 2018). Einige Bereiche weisen eine Vielfalt an Fingerprints auf, wohingegen für andere Bereiche wenige, bis gar keine Daten aufgezeichnet wurden.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Konzeptueller Ansatz

Um bei crowdsourced Fingerprints dennoch ein robustes Modell zur Indoor-Positionierung zu erhalten, wird in dieser Arbeit untersucht, inwiefern maschinelles Lernen verwendet werden kann, um kontinuierlich Positionierungsmodelle auf Basis der aktuellen Crowdsourcingdaten zu trainieren. Da beim Fingerprinting prinzipbedingt eine hohe Positionierungsauflösung zu Lasten der Verlässlichkeit geht, soll ferner untersucht werden, ob die Schätzung von Aufenthaltsbereichen bessere Ergebnisse gegenüber der Punktschätzung liefert (HE, TAN & CHAN 2016).

Dazu wird der zugrundeliegende Gebäudegrundriss zunächst automatisiert segmentiert, wobei die Ausmaße der einzelnen Segmente von der jeweiligen Menge an vorhandenen Trainingsdaten abhängen. Auf Basis der Segmentierung wird die Lokalisierung als Klassifizierungsproblem formuliert, mit dem Ziel, den korrekten Aufenthaltsbereich des Nutzers zu identifizieren (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2:** Gegenüberstellung von klassischem Fingerprinting-Ansatz (links) und der vorgestellten Bereichslokalisierung (rechts). Die Punkte repräsentieren Fingerprint-Messpunkte. Das klassische Modell sagt den Punkt vorher, wobei die Größe des Kreises die Unsicherheit der Vorhersage illustriert. Auf der rechten Seite wird (mit höherer Zuordnungsgüte) einer der vorbestimmten Bereiche vorhergesagt.

Um den Nutzen eines solchen Modells zu quantifizieren, lassen sich zwei Metriken heranziehen. Die Ausdrucksstärke misst den Informationsgewinn des Nutzers, welcher bei der Vorhersage von kleineren Bereichen höher ausfällt als bei größeren Bereichen. Des Weiteren gibt die Zuordnungsgüte Aufschluss darüber, wie verlässlich das Modell den korrekten Bereich vorhersagt. Die Metriken sind antiproportional, das heißt, eine zu feine Segmentierung (hohe Ausdrucksstärke) wirkt sich negativ auf die Zuordnungsgüte aus.

Da die, mittels Crowdsourcing generierten, Trainingsdaten fortwährend gesammelt werden, lassen sich die Bereichssegmentierung sowie das anschließende Klassifizierungsmodell durchgehend anpassen beziehungsweise verbessern. Die konkrete Herausforderung besteht darin, regelmäßig ein optimales Lokalisierungsmodell zu finden, welches die gewünschte Balance zwischen Ausdrucksstärke und Zuordnungsgüte liefert.

### 2.1 Untersuchungen und Umsetzung

In dieser Arbeit werden zwei clustering-basierte Algorithmen zur Segmentierung des Gebäudeplans vorgestellt, wobei die Ausmaße der Bereiche von den lokal vorhandenen Trainingsdaten abhängen (vgl. Abb. 3, links). Deep Neural Networks und Support Vector Machines werden für die Bereichsbestimmung trainiert sowie evaluiert und mit Standardmodellen zur exakten Positionsbestimmung verglichen. Eine Metrik zur Selektion von Bereichsklassifizierungs-Modellen, namens area classification score (ACS) wird entwickelt. Diese erlaubt, mittels Parametrisierung, eine anwendungsbezogene Steuerung hinsichtlich Ausdrucksstärke oder Genauigkeit des Modells (vgl. Abb. 3, Mitte). Diese Konzepte werden zusammen verwendet, um basierend auf den aktualisierten Trainingsdaten, dem Nutzer einer Smartphone-Applikation, regelmäßig ein optimiertes Model zur Bereichsbestimmung zur Verfügung zu stellen (vgl. Abb. 3, rechts).

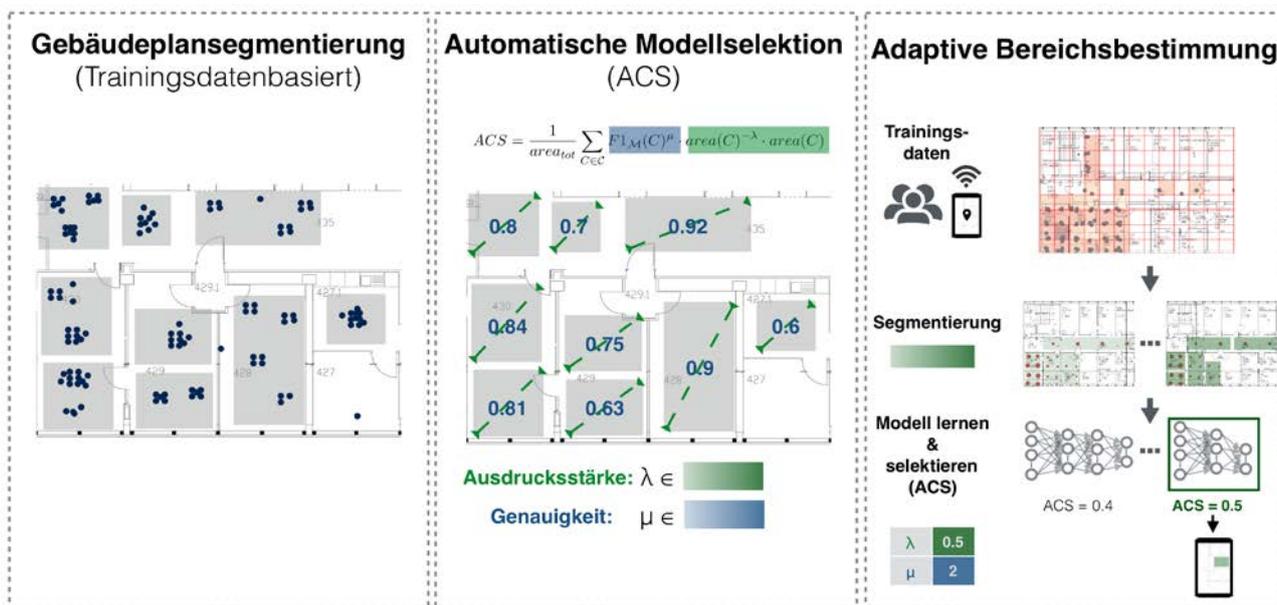
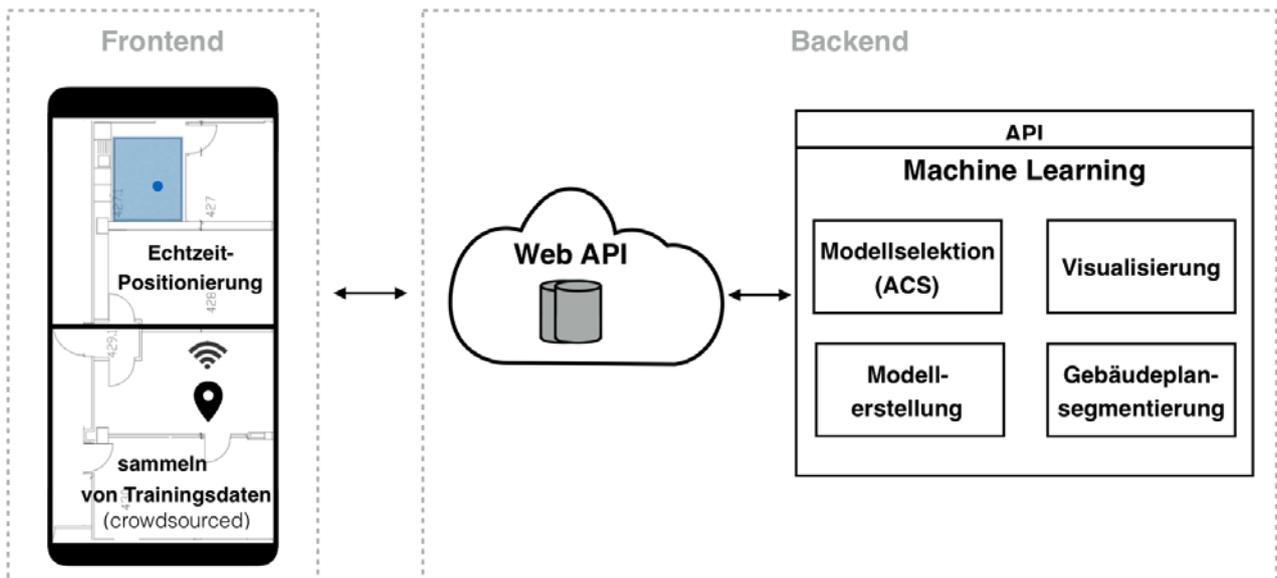


Abb. 3: Übersicht der konzeptuellen Beiträge der Arbeit.

Zusätzlich zu den theoretischen Konzepten wurde ein voll funktionsfähiges System implementiert, das aus einer Smartphone-Applikation zur Datensammlung und Echtzeitlokalisierung, einer Komponente für Maschinelles Lernen und einer Cloud-basierten Web-Schnittstelle samt Datenbank, besteht (vgl. Abb. 4). Die Softwarekomponenten erlauben die direkte Anwendung der Konzepte der Arbeit und werden zukünftige Forschung in diesem Bereich vereinfachen.



**Abb. 4:** Übersicht der praktischen Beiträge der Arbeit.

## Literatur

- BASIRI, A., LOHAN, E.S., MOORE, T., WINSTANLEY, A., PELTOLA, P., HILL, C., AMIRIAN, P. & FIGUEIREDO E SILVA, P. (2017), Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions. In: *Computer Science Review* 2017, 24, 1–12.
- HE, S., CHAN & S.H.G. (2016), Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: recent advances and comparisons. In: *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 18, 466–490.
- HE, S., TAN, J. & CHAN, S.H.G. (2016), Towards area classification for large-scale fingerprint-based system. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp '16*, 232–243.
- JIANG, Q., MA, Y., LIU, K. & DOU, Z. (2016), A probabilistic radio map construction scheme for crowdsourcing-based fingerprinting localization. In: *IEEE Sensors Journal*, 16, 3764–3774.
- YE, Y. & WANG, B. (2018), RMapCS: radio map construction from crowdsourced samples for indoor localization. In: *IEEE Access*, 6, 24224–24238.
- ZAFARI, F., GKELIAS, A. & LEUNG, K.K. (2019), A survey of indoor localization systems and technologies. In: *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 21, 2568-2599.

# Fuzzy Viewshed auf Basis des vertikalen Schwinkels zur Bestimmung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen

Karl ZEINLER

Ruralplan Ziviltechniker GmbH · Schulstraße 19 · A-2170 Poysdorf  
E-Mail: karl.zeinler@ruralplan.at

## 1 Einführung ins Thema

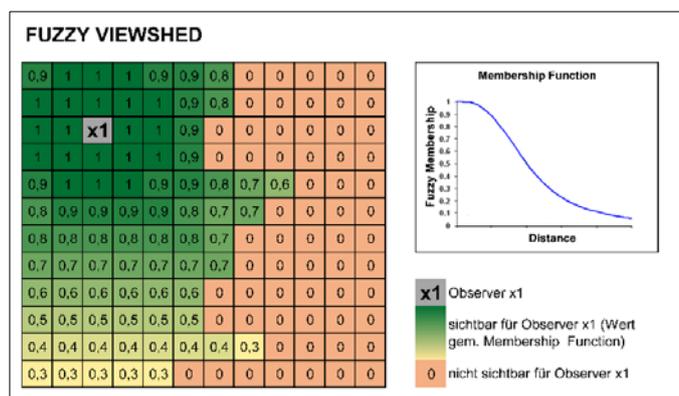
Infolge der weltweit gestiegenen Nachfrage an Windkraftanlagen konnten Anlagenhersteller in den letzten Jahrzehnten bemerkenswerte Erfolge bei der Weiterentwicklung der Anlagentechnologie erzielen. Der technologische Fortschritt hat sich in der Landschaft durch steigende Anlagenhöhen bemerkbar gemacht, sodass der „*visual impact*“ von Windkraftanlagen zunehmend an Gewicht gewonnen hat (MÖLLER 2006). Die Beurteilung der visuellen Eingriffsintensität von Windkraftanlagen zeigt sich in der Praxis infolge des mit Subjektivität behafteten Begriffes „Landschaftsbild“ oftmals als Herausforderung. Als technische Hilfsmittel werden hierfür realitätsnahe Fotomontagen und binäre Sichtbarkeitsanalysen herangezogen. Binär gerechnete Sichtbarkeitsanalysen geben zwar einen flächendeckenden Eindruck über die voraussichtliche Sichtbarkeit des geplanten Windparkprojektes, liefern jedoch keine Informationen über die visuelle Dominanzwirkung der geplanten Windkraftanlagen. Zudem kommt es in flachen und sanft-hügeligen Projektgebieten nicht selten vor, dass für weite Teile des Untersuchungsgebietes eine Sichtbarkeit aller projektierten Anlagen berechnet wird, wenngleich die Anlagen aufgrund der Distanz oder teilweisen Sichtverschattungen in der Realität kaum wahrnehmbar sein werden.

Fuzzy Viewsheds beruhen auf der mathematischen Theorie Fuzzy Logik (*engl. fuzzy logic*) und erweitern die binäre Sichtbarkeitsanalyse um eine Distanzabhängigkeitsfunktion (*engl. distance decay function*), wodurch für jede untersuchte Rasterzelle der „Grad der Sichtbarkeit“ festgestellt wird (FISHER 1994). Dabei wird zumeist eine exponentielle Distanzabhängigkeitsfunktion herangezogen, welche die visuelle Signifikanz eines Objektes in Abhängigkeit der Distanz beschreibt (KUMSAP et al. 2005). Dieser Beitrag demonstriert einen Fuzzy Viewshed-Ansatz zur Beschreibung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen auf Basis des vertikalen Schwinkels. Durch Heranziehen des vertikalen Schwinkels wird neben der Distanz auch die Höhe der Windkraftanlage bzw. das Ausmaß des sichtbaren Anlagenteils bei etwaigen Sichtverschattungen berücksichtigt. Dadurch soll der „Grad der visuellen Dominanz“ einer Windkraftanlage für jede Position im Projektgebiet quantifiziert werden.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

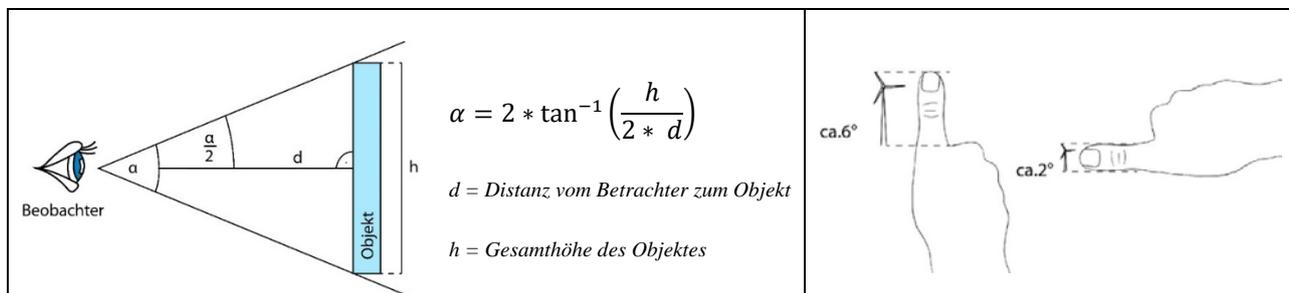
### 2.1 Fuzzy Viewshed auf Basis des vertikalen Schwinkels

Das Konzept der unscharfen Mengen wurde von FISHER (1994) erstmals für Viewshed-Berechnungen hinsichtlich der Berücksichtigung von atmosphärischen Sichtbedingungen diskutiert und erprobt. Das Grundprinzip einer Fuzzy Viewshed-Berechnung besteht in der Annahme, dass die Sichtbarkeit eines Objektes mit zunehmender Distanz abnimmt. Im Zuge einer Fuzzy Viewshed-Berechnung wird somit der Grad der Sichtbarkeit einer Zelle auf Basis einer Distanzabhängigkeitsfunktion ermittelt. Daraus resultieren Werte zwischen 1 (sehr gut sichtbar) und 0 (schlecht sichtbar). Abbildung 1 zeigt eine Prinzipdarstellung eines Ergebnisrasters einer Fuzzy Viewshed-Berechnung.



**Abb. 1:** Prinzipdarstellung – Fuzzy Viewshed.

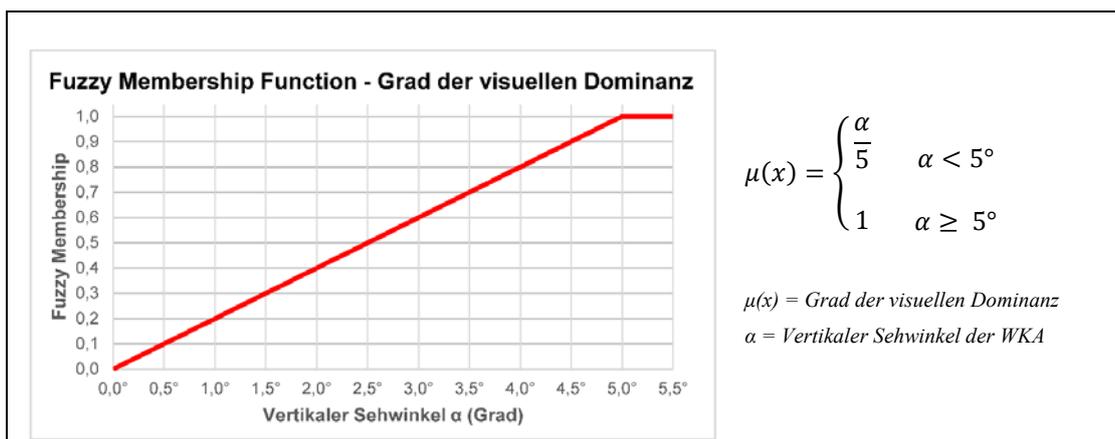
Der vertikale Sehwinkel (*engl. vertical visual angle* (VVA)) gibt an, wie groß ein Objekt auf der Netzhaut abgebildet und von einem Beobachter wahrgenommen wird. Aus diesem Grund wird er auch als „scheinbare Größe“ bezeichnet. Die Formel zur Berechnung des vertikalen Sehwinkels beruht auf der Trigonometrie des rechtwinkligen Dreiecks (vgl. Abb. 2). Um den vertikalen Sehwinkel etwas begreiflicher zu machen, sei auf einfache „Daumenregeln“ gem. O'SHEA (1991) für die schnelle Winkelabschätzung hingewiesen. So nimmt bei ausgestrecktem Arm eine Daumenbreite einen Sehwinkel von rund  $2^\circ$  ein und eine Daumenlänge einen Sehwinkel von rund  $6^\circ$  ein (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2:** Trigonometrische Berechnung des vertikalen Sehwinkels (links) und Methoden der Winkelschätzung (rechts).

Für die Bewertung der visuellen Störf Wirkung von Eingriffsobjekten lässt sich der vertikale Sehwinkel als Indikator der visuellen Dominanz nutzen. Ein Eingriffsobjekt „stört“ das menschliche Blickfeld umso weniger, je geringer seine Größe und je größer die Betrachtungsdistanz ist. Der vertikale Sehwinkel berechnet sich aus eben diesen Einflussgrößen und verspricht daher eine gute Eignung als Indikator der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen. Während im deutschsprachigen Raum der vertikale Sehwinkel bei der Bewertung der Auswirkungen von Windkraftanlagen auf das Landschaftsbild kaum Beachtung findet, misst man ihm in Australien bei der Abgrenzung des Untersuchungsraumes und dessen Unterteilung eine entscheidende Rolle bei. Das Untersuchungsgebiet für Windparkprojekte wird in australischen Fachgutachten (ERM 2015, XURBAN 2018) auf Basis des vertikalen Sehwinkels wie folgt unterteilt: Der Untersuchungsraum wird auf jene Zone beschränkt, in der der maximale Sehwinkel der Windkraftanlage  $0,5^\circ$  überschreitet. Als „Dominanzzone“ gilt schließlich jener Bereich, innerhalb der die Windkraftanlage einen vertikalen Sehwinkel von mindestens  $5^\circ$  einnehmen kann.

Da sich der Sehwinkel ohnehin mit der Distanz exponentiell verringert, wurde die Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion zur Beschreibung der visuellen Dominanz einer Windkraftanlage auf Basis des vertikalen Sehwinkels einfach gehalten und als lineare Funktion definiert. Abbildung 3 visualisiert die Zugehörigkeitsfunktion zur Beschreibung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen auf Basis des vertikalen Sehwinkels. Der Grad der visuellen Dominanz  $\mu(x)$  einer Windkraftanlage steigt mit dem vertikalen Sehwinkel  $\alpha$  linear an, bis dieser den Grenzwert von  $5^\circ$  erreicht. Ab einem Sehwinkel von  $5^\circ$  erreicht der Grad der visuellen Dominanz sein Maximum  $\mu(x) = 1$ .



**Abb. 3:** Fuzzy Zugehörigkeitsfunktion - Visuelle Dominanz.

Die Berechnung von Fuzzy Viewshed setzt sich aus einer iterativen Prozesskette zusammen, welche für jede Windkraftanlage durchzuführen ist. Ausgehend von den in Österreich verfügbaren freien Geodaten und der bereits diskutierten methodischen Konzeptionen betreffend den vertikalen Sehwinkel und dessen Fuzzifizierung zur Beschreibung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen, wurde ein Python-Skriptwerkzeug „FuzzyViewshed-Windfarm“ entwickelt, das alle wesentlichen Arbeitsschritte automatisch umsetzt:

- Aufbereitung des digitalen Geländemodells (Überhöhung im Bereich bewaldeter Gebiete)
- Berechnung der Distanz zu jeder Windkraftanlage

- Berechnung der Teilsichtbarkeit für jede Windkraftanlage
- Berechnung des vertikalen Schwinkels (scheinbare Größe) für jede Windkraftanlage
- Fuzzifizierung der vertikalen Schwinkel (Fuzzy Viewshed) gem. Abbildung 3
- Aggregation der Fuzzy Viewshed Einzelanalysen für eine kumulative Betrachtung

Folgende Tabelle 1 fasst die wesentlichen Merkmale des entwickelten Skriptwerkzeuges zusammen.

**Tabelle 1:** Skriptwerkzeug „FuzzyViewshed-Windfarm“ (ZEINLER 2019).

Tool-Name	FuzzyViewshed-Windfarm
Funktion	Das Tool rechnet Fuzzy Viewshed von Windkraftanlagen auf Basis ihrer vertikalen Schwinkel zur Ermittlung ihrer visuellen Dominanz [1 = dominant, 0 = nicht dominant].
Erforderliche Eingabedaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Windpark-Punktdatensatz mit Attributfeld der WKA-Gesamthöhen</li> <li>• Digitales Geländemodell von Österreich als Rasterdatensatz mit Auflösung 10 m (GEOLAND.AT 2017)</li> <li>• Sentinel-2 Bodenbedeckung Österreich 2016 als Rasterdatensatz mit Auflösung 10 m (UBA 2018)</li> </ul>
Ergebnisdaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgrenzung des Untersuchungsraumes und Unterteilung in Wirkzonen auf Basis des max. vertikalen Schwinkels</li> <li>• Überhöhung des DGM im Bereich bewaldeter Gebiete anhand einer wählbaren Baumhöhe</li> <li>• Cumulative Binary Viewshed für den Windpark (auf Basis der Gesamthöhe)</li> <li>• Berechnung des vertikalen Schwinkels für jede Windkraftanlage</li> <li>• Fuzzy Viewshed für jede Windkraftanlage auf Basis des vertikalen Schwinkels</li> <li>• Aggregation der Fuzzy Viewshed auf Basis vier verschiedener Aggregationsoperatoren (Maximum, Algebraische Summe, Arithmetisches Mittel, Fuzzy-Gamma)</li> </ul>
Viewshed-Parameter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OFFSETB = 1,65 m</li> <li>• SPOT = Fußpunkt der Anlagen berechnet sich aus dem Eingangs-DGM</li> <li>• Berücksichtigung der Erdkrümmung mit Brechungskoeffizient 0,13</li> </ul>
Anforderungen	ArcGIS 10.7 (Python 2.7) mit Extension Spatial Analyst und Extension 3D Analyst

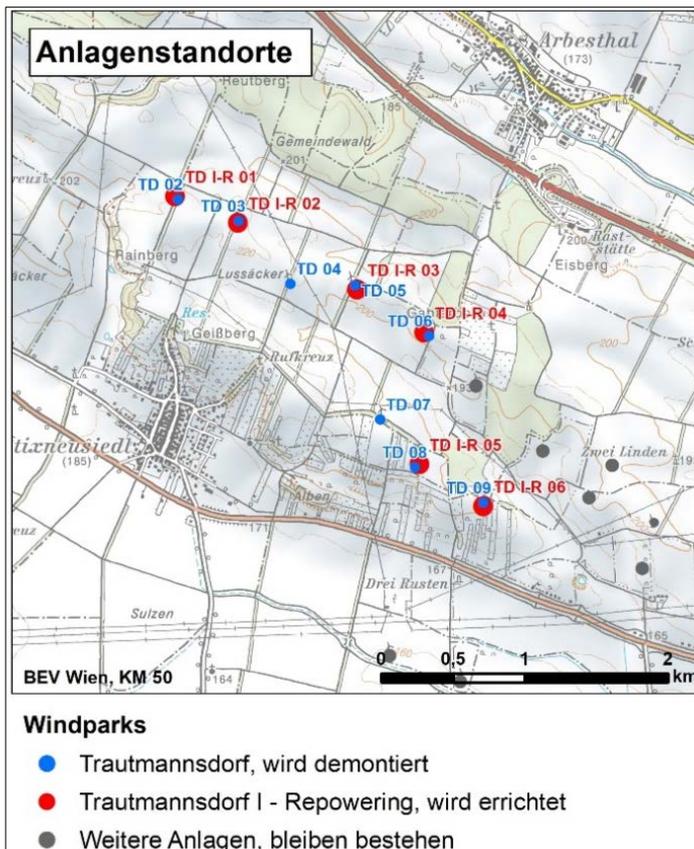
### 2.3 Fallbeispiel Windpark Trautmannsdorf – Repowering

Der Windpark Trautmannsdorf, bestehend aus acht Anlagen mit einem Rotordurchmesser von 80 m und einer Gesamthöhe von 140 m, befindet sich rund 30 km südöstlich von Wien und soll durch sechs moderne Anlagen ersetzt werden. Die sechs neuen Anlagen haben jeweils einen Rotordurchmesser von 140 m. Infolge unterschiedlicher Turmhöhen ergeben sich für die neuen Anlagen Gesamthöhen zwischen 176 m und 228 m (vgl. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** WP Trautmannsdorf I – Repowering.

Bestandwindpark		Repoweringprojekt	
WKA	Gesamthöhe	WKA	Gesamthöhe
TD 02	140 m	TD I-R 01	176 m
TD 03	140 m	TD I-R 02	177 m
TD 04	140 m	wird nach Demontage nicht ersetzt	
TD 05	140 m	TD I-R 03	200 m
TD 06	140 m	TD I-R 04	200 m
TD 07	140 m	wird nach Demontage nicht ersetzt	
TD 08	140 m	TD I-R 05	200 m
TD 09	140 m	TD I-R 06	228 m

Im Projektgebiet befinden sich weitere Windkraftanlagen, welche von dem Repoweringprojekt unberührt bleiben (vgl. Abb. 4).



**Abb. 4:**  
WP Trautmannsdorf I - Repowering

Aus den binären Sichtbarkeitsanalysen lassen sich für das Repoweringprojekt keine detaillierten Aussagen hinsichtlich seiner visuellen Auswirkungen auf das Landschaftsbild ableiten. Daher wurde in weiterer Folge das Python-Skriptwerkzeug „FuzzyViewshed-Windfarm“ sowohl für den bestehenden Windpark, als auch für das Repoweringvorhaben und die benachbarten bestehenden Windkraftanlagen, welche vom Vorhaben unberührt bleiben, ausgeführt. Für die Überhöhung des digitalen Geländemodells im Bereich bewaldeter Gebiete wurde eine Baumhöhe von 15 m gewählt.

Um die abstrakten Zugehörigkeitswerte (Grad der visuellen Dominanz) zu „visualisieren“, wurden die Fuzzy-Werte der einzelnen Windkraftanlagen aus den Fuzzy Viewshed Einzelanalysen für einen Fotostandpunkt extrahiert. Abbildung 5 beinhaltet eine Fotoszene der Bestandssituation von einem rund 2,4 km entfernten Standort. In der Fotoaufnahme sind die Fuzzy-Werte der 140 m hohen Altanlagen TD 06 bis TD 09 mit blauer Schriftfarbe gelabelt. Diese Anlagen werden nach Demontage teilweise durch größere Anlagen ersetzt und haben am ggst. Fotostandort Fuzzy-Werte zwischen 0,27 bis 0,48. Die Altanlagen wirken im Vergleich der grauen Anlagen (bleiben vom Vorhaben unberührt) mit den Fuzzy-Werten von 0,54 (Gesamthöhe ca. 150m) und 0,70 (Gesamthöhe ca. 186 m) visuell eher weniger dominant.



**Abb. 5:** Fotomontagen – Bestehender Windpark (blau) und umliegende Anlagen (grau) mit Fuzzy-Werte.

In der Fotomontage in Abbildung 6 ist die Situation nach dem geplanten Repowering dargestellt. Die bestehenden Anlagen des Windparks Trautmannsdorf wurden aus der Aufnahme entfernt und die geplanten Repoweringanlagen mithilfe der Spezialsoftware WindPro hinzugefügt. Zwar sind nun insgesamt weniger Anlagen zu sehen, diese entfalten infolge ihrer Größe von 200 m bzw. 228 m (vgl. Tabelle 2) jedoch eine stärkere Blickbindungswirkung bzw. visuelle Dominanz. Die Fuzzy-Werte der neuen Anlagen (rot) bewegen sich zwischen 0,57 und 0,73. Die geplanten Neuanlagen treten im Vergleich etwas mehr in den Vordergrund als die Altanlagen (vgl. Abb. 5).



**Abb. 6:** Fotomontage – Geplantes Repoweringprojekt (rot) und umliegende Anlagen (grau) mit Fuzzy-Werte.

### 2.3 Diskussion

In dem Beitrag wurde eine Berechnungsmethode demonstriert, welche den vertikalen Schwinkel einer Windkraftanlage für jede Rasterzelle im Untersuchungsraum modelliert. Der vertikale Schwinkel blieb bislang sowohl in der Forschung als auch in der Praxis für die Beschreibung der visuellen Dominanzwirkung von Windkraftanlagen unbeachtet. Für eine Weiterentwicklung des demonstrierten Fuzzy Viewshed-Ansatzes erscheinen vertiefende empirische Untersuchungen hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem vertikalen Schwinkel und der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen als zweckmäßig. Weitere Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich hinsichtlich der Konzeption treffsicherer Aggregationsoperatoren. Diesbezüglich wäre eine gewichtete Summe aller Einzelanalysen denkbar, in der die Gewichtung von der dominantesten hin zur schwächsten Anlage abnimmt, wobei für die Erstellung einer derartigen Gewichtungsfunktion wiederum das Vorliegen entsprechender empirischer Grundlagen eine wesentliche Voraussetzung ist.

Bei Verwendung des Indikators des vertikalen Schwinkels im Rahmen der Beurteilung der Auswirkungen von Windkraftanlagen auf das Landschaftsbild sind derzeit übliche Bewertungsmethoden, insbesondere die Abgrenzung des Einwirkbereiches von Windkraftanlagen, zu hinterfragen. Der Einwirkbereich versteht sich als jener Raum, in dem Wirkungen auf das Landschaftsbild zu erwarten sind (GERHARDS 2003). Dieser ästhetisch beeinträchtigte Landschaftsbereich ergibt sich aus der visuellen Fernwirkung des Eingriffsobjektes (NOHL 1993). Weder in der deutschen noch in der österreichischen Beurteilungsmethodik besteht eine einheitliche Abgrenzungsmethodik des visuellen Einwirkbereiches von Windkraftanlagen. In der Fachliteratur werden sowohl pauschalierte Abstandsradien (KNOLL & RITTSTEUER 2004, NOHL 1993), als auch Multiplikationsfaktoren der Anlagenhöhe (BREUER 2001) oder auch höhenabhängige Gleichungen (LUNG MV 2006) zur Abgrenzung des Einwirkbereiches vorgeschlagen. Um eine methodische Konsistenz zu gewährleisten, wäre bei Verwendung des Indikators des vertikalen Schwinkels hierfür ebenso eine schwinkelabhängige Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zu empfehlen.

Abgesehen von etwaigen Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Festlegung valider Schwinkel-Grenzwerte können durch die präsentierten Fuzzy Viewsheds wertvolle Informationen hinsichtlich der Dominanzwirkung von Windparkplanungen abgeleitet werden. Sie können zur Vorauswahl von geeigneten Standorten für Fotomontagen sowie als Entscheidungsgrundlage für die Bestimmung von Immissionspunkten für Schattenwurfprognosen herangezogen werden. Da die Sichtbarkeit von Windkraftanlagen auch auf die subjektive Wahrnehmung von deren Schallemissionen Einfluss nehmen kann (PEDERSEN & LARSMAN 2008), sind Ergebnisse von Sichtbarkeitsanalysen auch für die Bestimmung von Mess- und Immissionspunkten für schalltechnische Untersuchungen von Interesse. Ein weiterer möglicher Anwendungsfall des Ansatzes besteht schließlich auch in der Analyse der Störwirkung geplanter Bauvorhaben auf Radarstationen und Funkeinrichtungen.

## Literatur

- BREUER, W. (2001), Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen für Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes – Vorschläge für Maßnahmen bei Errichtung von Windkraftanlagen. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 33(8), 237–245.
- ERM - ENVIRONMENTAL RESSOURCES MANAGEMENT AUSTRALIA (2015), Maroona Wind Farm. Landscape and Visual Impact Assessment. Project Reference 0309893 FINAL. <http://www.maroonawindfarm.com.au/documents/Vol-ume%203%20Landscape%20and%20Visual%20Assessment.pdf> (Zugriff 02/2020).
- FISHER, P. F. (1994), Probable and fuzzy models of the viewshed operation. In: WORBOYS, M. (Hrsg.), *Innovations in GIS 1. selected papers from the First National Conference on GIS Research UK*. Taylor & Francis, London, 161–175.
- GEOLAND.AT (2017), Digitales Geländemodell (DGM) Österreich. Digitales Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten. Höhenangaben des Geländes im Raster von 10m x 10m. <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/d88a1246-9684-480b-a480-ff63286b35b7> (Zugriff 02/2020).
- GERHARDS, I. (2003), Die Bedeutung der landschaftlichen Eigenart für die Landschaftsbildbewertung. Dargestellt am Beispiel der Bewertung von Landschaftsbildveränderungen durch Energiefreileitungen. Zugl.: Freiburg (Breisgau), Univ., Diss., 2003, Freiburg im Breisgau.
- KNOLL, T. & RITTSTEUER, V. (2004), Bewertung des Landschaftsbildes von Windenergieanlagen anhand des Beispiels Niederösterreich, Wien. [http://www.knollconsult.at/zt/pub/3\\_2004\\_Knoll\\_Landschaftsbild\\_Windenergieanlagen.pdf](http://www.knollconsult.at/zt/pub/3_2004_Knoll_Landschaftsbild_Windenergieanlagen.pdf) (Zugriff 02/2020).
- KUMSAP, C., BORNE, F. & MOSS, D. (2005), The technique of distance decayed visibility for forest landscape visualization. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 19(6), 723–744.
- LUNG MV - LANDESAMT FÜR UMWELT NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE MECKLENBURG-VORPOMMERN (2006), Hinweise zur Eingriffsbewertung und Kompensationsplanung für Windkraftanlagen, Antennenträger und vergleichbare Vertikalstrukturen.
- MÖLLER, B. (2006), Changing wind-power landscapes. Regional assessment of visual impact on land use and population in Northern Jutland, Denmark. In: *Applied Energy*, 83(5), 477–494.
- NOHL, W. (1993), Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe. Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung. geänderte Fassung 1993.
- O'SHEA, R. P. (1991), Thumb's rule tested. Visual angle of thumb's width is about 2 deg. In: *Perception*, 20(3), 415–418.
- PEDERSEN, E. & LARSMAN, P. (2008), The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. In: *Journal of Environmental Psychology*, 28(4), 379–389.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT GMBH (2018), Sentinel-2 Bodenbedeckung Österreich 2016, Wien. <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/97327f91-93b7-4dbb-94a4-008a09f45d77> (Zugriff 02/2020).
- XURBAN (2018), Ferguson Wind Farm Landscape & Visual Assessment - Planning Amendment. 15023. RTP Final, Melbourne. <http://fergusonwindfarm.com.au/documents/Attachment%20C%20Landscape%20and%20Visual%20Assessment.pdf> (Zugriff 02/2020).
- ZEINLER, K. (2019), Fuzzy Viewshed auf Basis des vertikalen Schwinkels zur Bestimmung der visuellen Dominanz von Windkraftanlagen. Master Thesis. Paris Lodron-Universität Salzburg, Salzburg.

# Radarsatelliten in humanitärer Mission – Wege von der Wissenschaft in die Praxis

Andreas BRAUN

Geographisches Institut · Universität Tübingen · Rümelinstraße 19-23 · 72070 Tübingen  
E-Mail: an.braun@uni-tuebingen.de

## 1 Hintergrund

Der Einsatz von optischen Satellitenbildern erfährt zunehmende Beliebtheit in humanitären Organisationen, da sie Entscheidungsträgern ermöglichen, sich einen Überblick über entlegene oder gefährliche Gebiete, sowie über unübersichtliche oder schnell veränderliche Situationen zu verschaffen. Zudem erlauben archivierte Aufnahmen, komplexe Dynamiken in der Retrospektive besser zu verstehen und zukünftige Entwicklungen abzuschätzen (LANG et al. 2019).

Doch während der Bedarf und das Interesse an sehr hoch aufgelösten und multispektralen Daten der optischen Satelliten stetig ansteigen, ist das Potenzial von Radarbildern im humanitären Bereich weitestgehend unerforscht. In der Praxis spielen Satelliten wie TerraSAR-X, ALOS-2 oder Sentinel-1 bisher nahezu keine Rolle. Dabei verfügen gerade sie über Eigenschaften, die für den Einsatz im humanitären Bereich besonders wertvoll sein könnten: Ihr im Mikrowellenbereich ausgesendetes Signal durchdringt Wolken und kann auch ohne Tageslicht zur Abbildung der Erdoberfläche eingesetzt werden. Dadurch ermöglichen diese Satelliten eine deutlich schnellere Bereitstellung von Informationen im Krisenfall und ein regelmäßigeres Monitoring von Gebieten mit hoher Wolkenbedeckung. Darüber hinaus zeigen Radarbilder Eigenschaften der Erdoberfläche, die von multispektralen Sensoren nicht erfasst werden können, beispielsweise Rauigkeit, Feuchtegehalt oder Form von Oberflächen und Objekten.

Der vorliegende Beitrag geht der Frage nach, warum Radarsatelliten bisher keine Anwendung in der humanitären Praxis finden und durch welche Ansätze und Maßnahmen dieses Potenzial in Zukunft besser ausgeschöpft werden kann, um Menschen in Not zu helfen. Dies erfolgt durch die Erarbeitung und Präsentation von ausgewählten Fallstudien, die in Zusammenarbeit mit humanitären Organisationen (*Ärzte ohne Grenzen*, *Internationales Rotes Kreuz*, *Groundwater Relief*, u.a.) entwickelt und getestet wurden. Gleichzeitig ist er ein Appell für eine stärkere Zusammenarbeit von Wissenschaft und Anwendern, um bestehende Hürden abzubauen und den Transfer dieser Technologie in existierende Arbeitsroutinen humanitärer Organisationen zu verwirklichen.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Zielsetzung und Struktur

Eine unter 20 Mitarbeitern in humanitären Organisationen durchgeführte Umfrage ergab, dass 80% von ihnen regelmäßig mit Geodaten, optischen Satellitenbildern oder GPS-Informationen arbeiten, jedoch nur 15 % mit Radarbildern (BRAUN 2018). Dabei ist diese Technik den Befragten durchaus bekannt und 90% von ihnen unterstreichen ein großes Interesse, jedoch werden die Komplexität der Daten, sowie mangelnde Zeit, sich mit technischen Neuerungen auseinanderzusetzen, als Gründe genannt. Zudem lassen sich existierende Methoden der Radarfernerkundung nicht auf den humanitären Kontext übertragen.

Aufbauend auf einer Analyse identifizierter Forschungslücken wurden innovative und technisch-angepasste Methoden entwickelt, deren Integration in bereits bestehende Abläufe humanitärer Arbeit möglich ist. Diese Methoden wurden anhand konkreter Anwendungsfälle auf den Bedarf von Seiten der Anwender angepasst und validiert. Insgesamt wurden elf Fallstudien entwickelt, die sich mit dem Kartieren von Flüchtlingslagern und Infrastrukturen, der Erkennung von Naturgefahren sowie dem Monitoring natürlicher Ressourcen im Umfeld humanitärer Krisenfälle beschäftigen (vgl. Abb. 1). Geographisch befinden sie sich in Afrika (Äthiopien, Guinea, Kenia, Mali, Nigeria, Süd Sudan, Tschad), dem Nahen Osten (Syrien) und Südostasien (Bangladesch und Laos). Die Erkenntnisse aus den Fallstudien zum Potenzial und den derzeitigen Grenzen von Radardaten werden vor dem Hintergrund zukünftiger Entwicklungen erörtert.

### 2.2 Zentrale Erkenntnisse

Die Arbeit ergab, dass folgende Punkte entscheidend für eine erfolgreiche und langfristige Aufnahme und Anwendung von Radarsatelliten in humanitären Organisationen sind:

**Innovation:** Bis ins Jahr 2014 existierten lediglich drei wissenschaftliche Publikationen, die sich, wenn auch recht oberflächlich, mit Radardaten im humanitären Kontext auseinandersetzen. Durch diesen Mangel an „best practice“-Beispielen kommt es zu keiner Aufnahme von entwickelten Methoden durch NGOs oder im öffentlichen Sektor (BRAUN & HOCHSCHILD 2017b).

**Anpassung:** Routinen der humanitären Fernerkundung, die für optische Satelliten entwickelt wurden, lassen sich nicht ohne Weiteres auf Radardaten übertragen. Gleichzeitig sind existierende Analysemethoden der Radarfernerkundung nicht an humanitäre Bedingungen angepasst. So bestehen Flüchtlingslager zu großen Teilen aus Zelten oder Notunterkünften aus einfachen Baumaterialien, die sich sowohl hinsichtlich ihrer Erkennung im Bild als auch durch ihre Anfälligkeit durch Naturgefahren von Städten unterscheiden. Dies erfordert die Entwicklung angepasster Methoden.

**Integration:** Während wissenschaftliche Qualität oft nach ihrem technischen Innovationsgrad gemessen wird, richtet sich die Einbindung von Methoden in humanitäre Arbeit vielmehr an Kriterien der praktischen Umsetzung, des zeitlichen und finanziellen Aufwands, und am Potenzial für Operationalisierung. Entwickelte Methoden müssen also auf die bereits bestehenden Arbeitsabläufe in humanitären Organisationen angepasst werden.

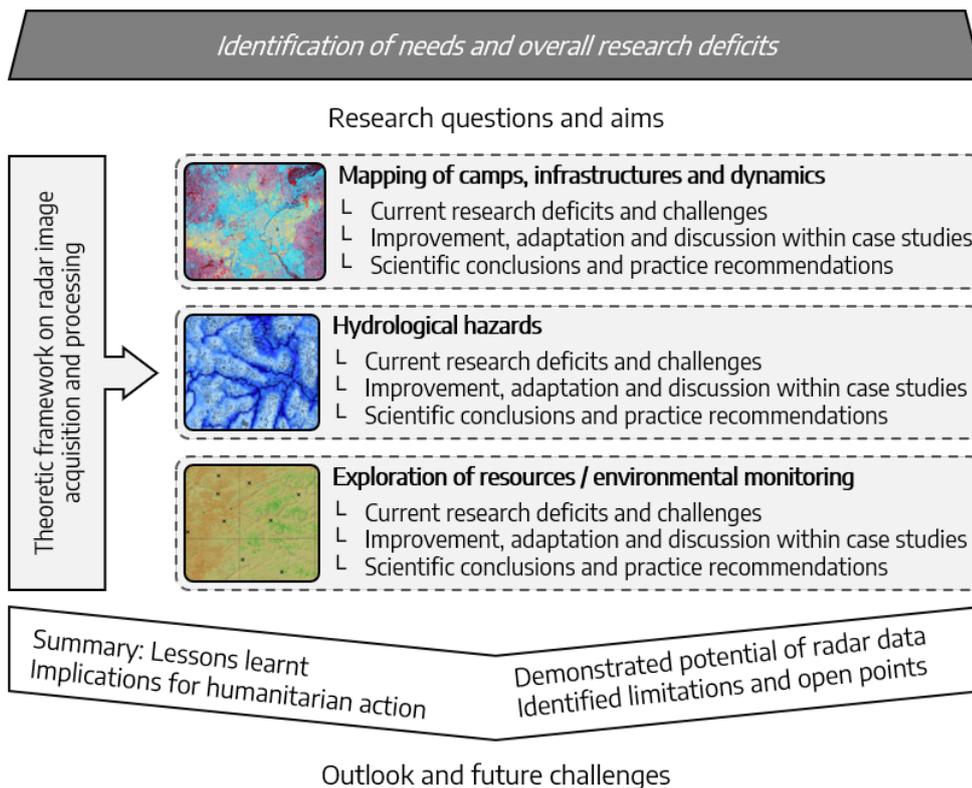
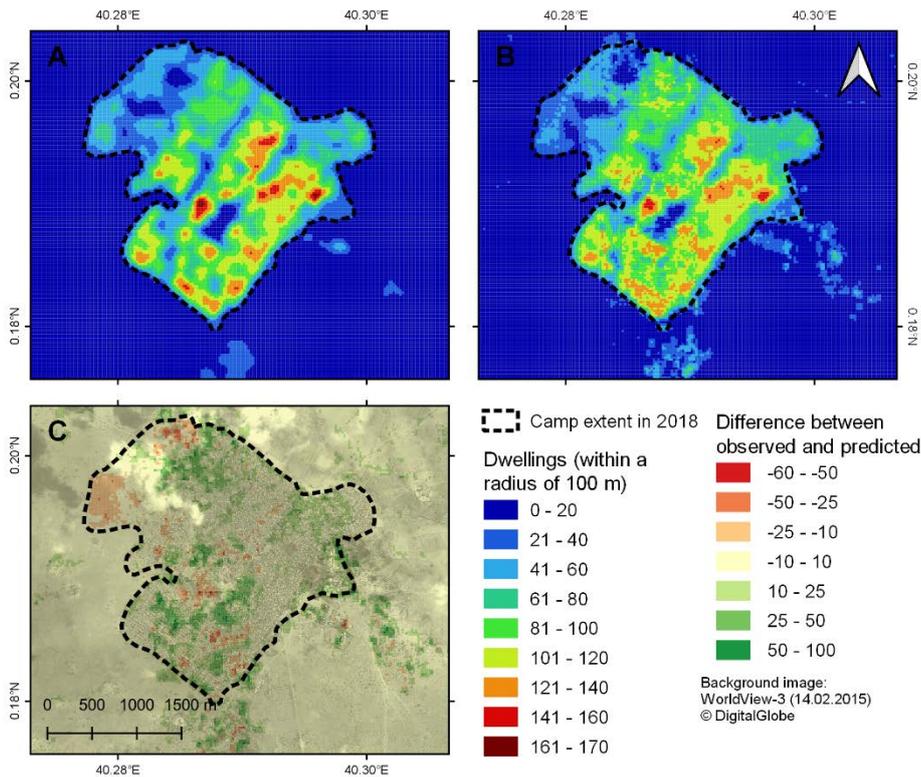


Abb. 1: Struktur und Ziele der Arbeit (BRAUN 2019).

## 2.3 Ergebnisse ausgewählter Fallstudien

### 2.3.1 Innovation: Vorhersage der Bebauungsdichte in Flüchtlingslagern

Im Bereich der wissenschaftlichen Innovation wurde ein Modell der Bebauungsdichte des Flüchtlingslagers Dagahaley in Kenia ermittelt, das basierend auf der Rückstreuung zweier TerraSAR-X-Aufnahmen von 2011 und 2015 kalibriert wurde. Informationen zur Bebauungsdichte dienen als Indikator für das Camp-Wachstum und erlauben in Verbindung mit Statistiken zu Haushaltsgrößen auch Rückschlüsse auf die Anzahl der im Lager wohnenden Menschen. Durch systematisches Multi-Looking der Radarbilder wurden Repräsentationen des Lagers und seines Umlands in unterschiedlichen räumlichen Auflösungen erzeugt, die als erklärende Variablen in einen maschinellen Klassifikator eingingen und eine Trainingsgenauigkeit von  $r^2 = 0.99$  ermöglichten. Dieses Modell war in der Lage, die Bebauungsdichte des Lagers aus einer unabhängigen, dritten TerraSAR-X-Aufnahme aus dem Jahr 2018 mit einer Genauigkeit von  $r^2 = 0.97$  vorherzusagen. Hieraus konnte erwiesen werden, dass Archivdaten zur Erstellung von Vorhersagemodellen der Bebauungsdichte verwendet werden können, die im Falle neuer Dynamiken in den Lagern auf neue Aufnahmen angewendet werden können, und so das Warten auf wolkenfreie Bedingungen im Krisenfall entfällt.



**Abb. 2:** Vorhersage der Bebauungsdichte im Flüchtlingslager Dagahaley, Kenia. A: Tatsächliche Bebauungsdichte (ermittelt aus Klassifikation hochauflösender optischer Daten). B: Vorhersage basierend auf Radardaten. C: Differenz aus A und B (BRAUN 2019).

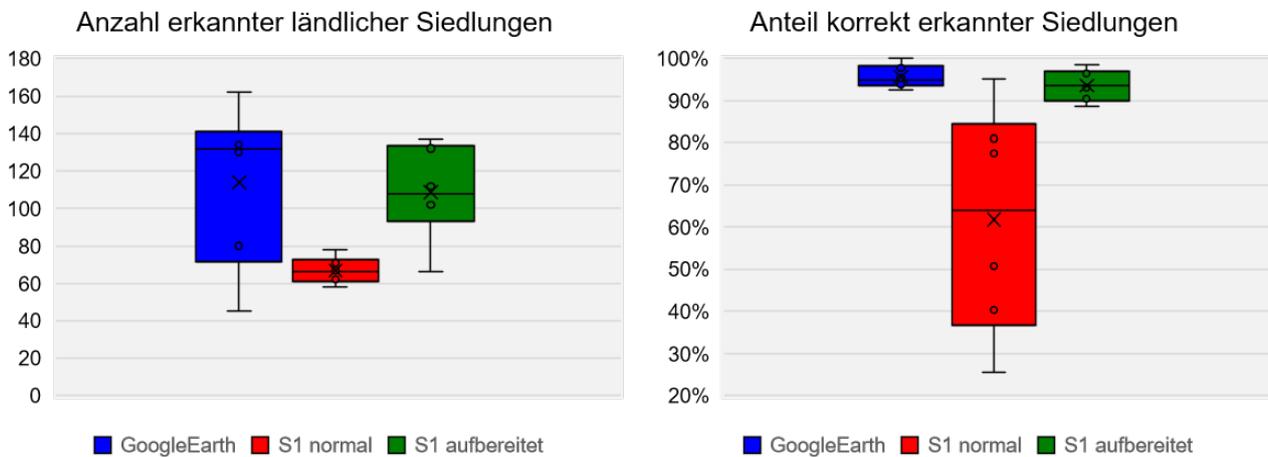
### 2.3.2 Anpassung: Umweltauswirkung von Flüchtlingslagern

Eine wichtige Information in Bezug auf die Tragfähigkeit von Landschaften und die nachhaltige Verwendung natürlicher Ressourcen ist das Umweltmonitoring im Bereich großer Flüchtlingslager. So existieren bereits einige methodische Ansätze, welche auf optischen Daten basieren und unter Einbezug von Expertenmeinungen die Veränderungen einer Landschaft in Bezug auf die Lebensqualität und -grundlage der Bewohner quantifizieren (HAGENLOCHER et al. 2012). Um dies auch in Gebieten mit regelmäßiger Wolkenbedeckung ermöglichen zu können, wurde ein Ansatz entwickelt, mithilfe dessen aus Bildern des Radarsatelliten ALOS PALSAR-2 Umweltveränderungen des Flüchtlingslagers Djabal im Tschad zwischen 2007 und 2017 ausgewertet werden können. Der Ansatz basiert auf einer multitemporalen Klassifikation der Landbedeckung, welche durch Gewichtung der einzelnen Klassen in einen Index des Umweltzustandes mündet. Dieser erlaubt die kartographische Darstellung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der natürlichen Ressourcen, auf Basis derer der Einfluss des Flüchtlingslagers auf seine direkte Umwelt dargestellt und bewertet werden kann. Diese Information unterstützt nicht humanitäre Organisationen und regionale Verwaltungen bei Entscheidungen des Ressourcenmanagements, sondern kann wie im Falle des Camps Djabal auch Vorurteile und falsche Wahrnehmungen zum negativen Einfluss von Flüchtlingslagern entkräften (BRAUN et al. 2016, BRAUN & HOCHSCHILD 2017a).

### 2.3.3 Integration: Kartierung ländlicher Siedlungen für Impfkampagnen

Um auch einfache Strategien zur direkten Anwendung von Radarbildern in humanitären Notfällen bereitzustellen, wurde ein Verfahren entwickelt, anhand dessen frei verfügbare Sentinel-1-Aufnahmen so aufbereitet werden können, dass sie zur Kartierung ländlicher Kleinsiedlungen verwendet werden können. Dies ist für humanitäre Organisationen insbesondere in Gebieten mit veraltetem oder nicht vorhandenem amtlichen Kartenmaterial von elementarer Bedeutung, zuletzt während des Ausbruchs der Ebola-Epidemie 2014 in Westafrika: Zwar waren Mitarbeiter von *Ärzte ohne Grenzen* rasch vor Ort, um Impfkampagnen durchzuführen, jedoch verfügten sie über keinerlei Informationen über die räumliche Verteilung der Bevölkerung in den oft verstreut und kleinräumig besiedelten ländlichen Bereichen außerhalb der Großstädte. Zwar engagierten sich kurzerhand zahlreiche Freiwillige, um die kleinen Ortschaften händisch auf der Basis optischer Satellitenbilder zu kartieren (Humanitarian Open Street Map, LESSARD-FONTAINE et al. 2015), jedoch stellten sich hier veraltete Aufnahmen und schlechte Bildqualität große Herausforderungen dar. Um auf neue Notfälle besser vorbereitet zu sein, wurde der auf Radardaten basierende Ansatz einem Praxistest unterzogen, bei dem Gruppen aus Studierenden ländliche Siedlungen auf unterschiedlichen Grundlagen interpretierten und digitalisierten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden in der selben Zeit deutlich mehr ländliche Siedlungen in den aufbereiteten Radardaten erkannt haben (Abb. 3, grün) als in den standardmäßig verfügbaren Bildprodukten (Abb. 3, rot). Darüber hinaus war auch der Anteil der

korrekt erkannten ländlichen Siedlungen signifikant höher und vergleichbar mit den Ergebnissen basierend auf optischen Daten (Abb. 3, blau). Die entwickelte Methode zur Aufbereitung der Radardaten für eine verbesserte visuelle Interpretation basiert auf Cloud-Diensten der Google Earth Engine und ist damit auch von Personen mit begrenzten Kenntnissen von Radarbildern automatisiert anwendbar und ermöglicht so in einem erneuten Krisenfall die Verwendung einer bestmöglichen und aktuellsten Datengrundlage.



**Abb. 3:** Eignung der aufbereiteten Radardaten (grün) zur Kartierung ländlicher Siedlungen im Krisenfall.

### 3 Fazit und Ausblick

Die Arbeit konnte anhand von elf Fallstudien ein breites Anwendungsspektrum von Radardaten im humanitären Kontext aufzeigen, deren Potenzial bisher noch weitestgehend ungenutzt ist. Durch die enge Zusammenarbeit mit den humanitären Organisationen konnten die Studien auf die Bedürfnisse der Arbeiter und Entscheidungsträger angepasst werden, um so bestehende Hindernisse in der Implementierung abzubauen und einen Grundstein für die Integration in bestehende Arbeitsroutinen zu legen. Identifizierte technische Hindernisse erscheinen vor dem Hinblick einer höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung zukünftiger Satellitenmissionen (z.B. NovaSAR-S, ICEYE, BIOMASS) sowie zunehmender rechnerischer Kapazitäten (Rechencluster, Cloud-Dienste) überwindbar.

Viel zentraler für die erfolgreiche Integration von Radardaten in der humanitären Praxis ist das konstruktive Zusammenarbeiten von Wissenschaftlern und Anwendern. Nur wenn weiterhin praxisnahe Fallstudien entwickelt und publiziert werden, und diese auch Rückmeldung und Validierung von Seiten der humanitären Organisationen erhalten, kann ein interdisziplinärer Diskurs entstehen, damit aus Radardaten nicht nur sachlich richtige, sondern auch für den Anwender nützliche Informationsprodukte hervorgehen (BRAUN 2020). Dieser kann durch gemeinsame Konferenzen und Workshops oder auch durch konkrete Schulungen befeuert werden, sodass in Zukunft eine Zusammenarbeit von Datenerhebung, über die Wahl der Methoden bis zur Darstellung der Ergebnisse erfolgt, um eine bestmögliche Hilfe für Menschen in Not zu leisten.

### Literatur

- BRAUN, A. (2018), Spatial data in humanitarian assistance. Online survey (unpublished results). <https://www.surveymonkey.de/r/853QCSK> (08.12.2018).
- BRAUN, A. (2019), Radar satellite imagery for humanitarian response. Bridging the gap between technology and applications. Dissertation. Eberhard-Karls Universität Tübingen, Tübingen.
- BRAUN, A. (2020), Spaceborne radar imagery – An under-utilized source of information for humanitarian relief. In: *Journal of Humanitarian Engineering* (accepted).
- BRAUN, A. & HOCHSCHILD, V. (2017a), A SAR-based index for landscape changes in African savannas. In: *Remote Sensing*, 9 (4), 359–382, doi: 10.3390/rs9040359.
- BRAUN, A. & HOCHSCHILD, V. (2017b), Potential and limitations of radar remote sensing for humanitarian operations. In: *Journal for Geographic Information Science*, 1, 228–243, doi: 10.1553/giscience2017\_01\_s228.
- BRAUN, A., LANG, S. & HOCHSCHILD, V. (2016), Impact of refugee camps on their environment. A case study using multi-temporal SAR data. In: *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 4 (2), 1–17, doi: 10.9734/JGEESI/2016/22392.

- HAGENLOCHER, M., LANG, S. & TIEDE, D. (2012), Integrated assessment of the environmental impact of an IDP camp in Sudan based on very high resolution multi-temporal satellite imagery. In: *Remote Sensing of Environment*, 126, 27–38.
- LANG, S., FÜREDER, P., RIEDLER, B., WENDT, L., BRAUN, A., TIEDE, D., SCHOEPFER, E., ZEIL, P., SPRÖHNLE, K., KULESSA, K., ROGENHOFER, E., BÄUERL, M., ÖZE, A., SCHWENDEMANN, G. & HOCHSCHILD, V. (2019), Earth observation tools and services to increase the effectiveness of humanitarian assistance. In: *European Journal of Remote Sensing*, 1–19.
- LESSARD-FONTAINE, A., SOUPART, M. & LABORDERIE, S. de (2015), Supporting Ebola combat with satellite images. The MSF perspective. In: *Journal for Geographic Information Science*, 445–448.

# Raster Time Series: Learning and Processing

Johannes DRÖNNER

Fachbereich Mathematik und Informatik · Philipps-Universität Marburg · Hans-Meerwein-Straße 6 · 35043 Marburg  
E-Mail: droenner@informatik.uni-marburg.de

## 1 Einführung ins Thema

Die Menge der erzeugten Fernerkundungsdaten nimmt immer weiter zu. Besonders Satellitendaten sind für viele wissenschaftliche Bereiche, wie Biodiversität und Klimaforschung, extrem wichtig. Dabei sind besonders die erzeugten Zeitreihen von Interesse. Geostationäre Satelliten liefern Aufnahmen mit einer zeitlichen Auflösung von Minuten. Der europäische Wettersatellit *Meteosat Second Generation* (MSG) erzeugt alle 15 Minuten eine neue Szene mit 12 Kanälen. Die entstehenden Datenmengen haben viel Potential, aber stellen Herausforderungen an effiziente Prozessierungsverfahren.

Wetter und Klima sind für fast alle lebenden Organismen auf der Erde von besonderer Relevanz. Daher ist die Verarbeitung von Satellitendaten zu Produkten wie Wolkenmasken wichtig. Existierende Methoden werden z.B. von THIES & BENDIX (2011) zusammengefasst. Betrachtet man diese, so fallen die folgenden drei Aspekte auf:

1. Die meisten Ansätze zur Wolkenerkennung klassifizieren nur einzelne Pixel und berücksichtigen nicht, dass Wolken räumlich kontinuierliche Entitäten sind.
2. Die üblichen Arten der Klassifikation mittels physikalischer Schwellenwerte oder durch Maschinelles Lernen erfordern einen hohen manuellen Arbeitsaufwand. Domainexperten müssen die am besten geeigneten Merkmale manuell auswählen oder erstellen.
3. Da aus Satellitendaten abgeleitete Produkte für Nowcasting und Zeitreihenanalyse verwendet werden, wird eine schnelle Verarbeitung von Multikanal-Datensätzen im Terrabyte-Bereich benötigt.

Der vorliegende Beitrag zeigt, wie Deep-Learning für die obigen Probleme adaptiert werden kann. Das auf einer CNN-Architektur zur Bildsegmentierung basierende Cloud-Segmentation-CNN (CS-CNN) (DRÖNNER et al., 2018) kann alle Pixel einer MSG-Szene gleichzeitig klassifizieren und kommt ohne eine manuelle Selektion von Features aus. Damit wird gezeigt, dass CNNs multispektrale Satellitendaten verarbeiten können, um kontinuierliche Phänomene, wie Wolken, zu identifizieren. Eine Voraussetzung dabei ist die effiziente Aufbereitung großer Mengen von Trainingsdaten, die durch parallele Verarbeitung und effiziente Algorithmen aus dem MSG-Szenen erzeugt wurden (DRÖNNER et al., 2019).

Die Aufbereitung der Trainingsdaten sowie die Validierung und Weiterverarbeitung der Klassifikationsergebnisse stellt meistens einen großen manuellen Aufwand dar. Dies liegt daran, dass die damit einhergehende Visualisierung und Verarbeitung von raum-zeitlichen Daten oft getrennt und mit verschiedener Software umgesetzt wird. Web-Anwendungen bieten dabei dynamische raum-zeitliche Visualisierungen, während die Verarbeitung durch Skripte oder durch Workflows in GIS erfolgt.

Aus diesem Grund wurde das webbasierte Visualisierungs-, Transformations- und Analyse-System (VAT) entwickelt, das Visualisierung und Verarbeitung von raum-zeitlichen Daten durch explorative Workflows verbindet. Dieser Beitrag zeigt dies beispielhaft durch die Verknüpfung der klassifizierten MSG-Zeitreihe mit Flug-Trajektorien.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Das Cloud Segmentation CNN

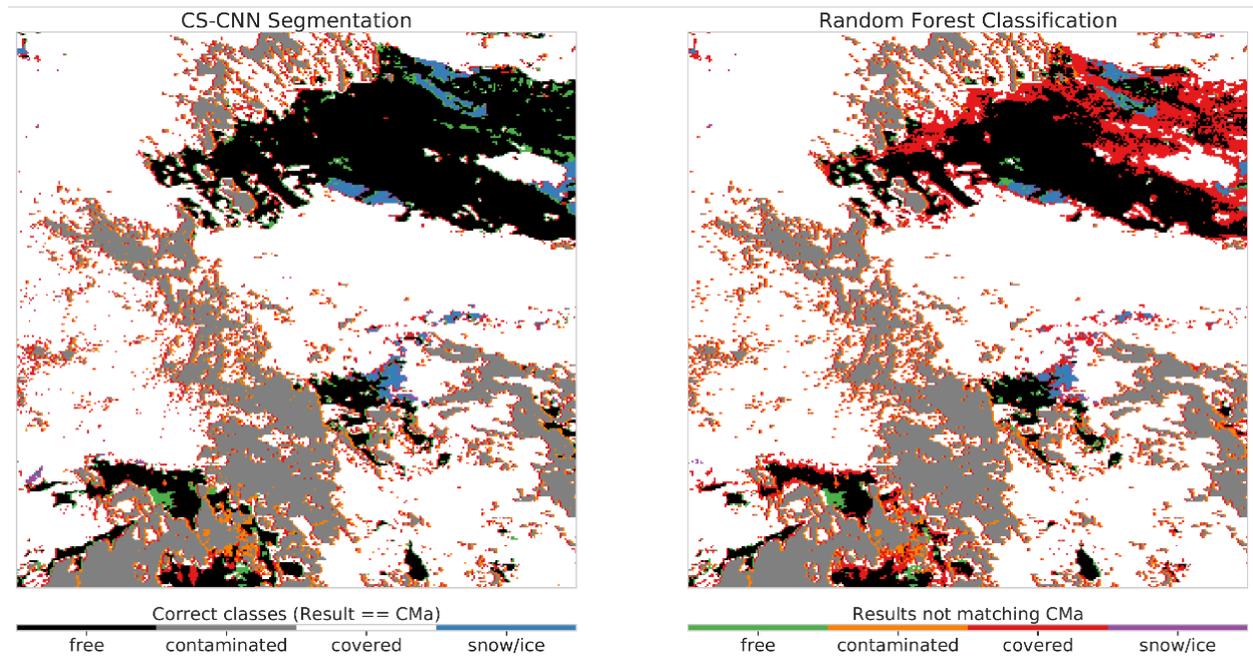
Das Ziel des CS-CNN ist die Erstellung von Wolkenmasken aus MSG-Szenen. Zum Training eines CNNs wurde die MSG-Zeitreihe sowie eine existierende Wolkenmaske aus dem CLAAS-2-Datensatz (BENAS et al., 2017) verwendet. Diese Wolkenklassifikation hat die vier Klassen „free“, „contaminated“, „covered“ und „snow/ice“ für jeden Pixel einer MSG-Szene. Das Deep-Learning-Modell (CS-CNN) wurde mit allen MSG-Szenen von 2006 bis 2010 gegen diese Wolkenmasken trainiert. Als Vergleichsmethode wurde ein Random-Forest-Modell (RF) entwickelt und trainiert. Im Gegensatz zum CS-CNN wurde für das RF-Modell eine optimierte Merkmalsselektion auf den einzelnen MSG-Kanälen sowie Kanalkombinationen und Zusatzdaten durchgeführt. Darunter fallen Informationen über Geländehöhe und Sonnenwinkel an jedem Pixel.

Abbildung 1 zeigt eine Klassifikation durch die resultierenden Modelle. Links das CS-CNN und rechts das Ergebnis des RF-Modells. Unterschiede zur Wolkenmaske aus CLAAS-2 sind farblich hervorgehoben. Bei der ausgewählten Szene handelt es sich um einen Ausschnitt der MSG-Aufnahme vom 02.02.2011, 09:00 Uhr UTC. Der Ausschnitt zeigt West-Europa. Es ist deutlich erkennbar, dass das CS-CNN weniger Fehlklassifikationen aufweist. Zur Validierung der Modelle wurde die MSG-Zeitreihe für das Jahr 2011 verwendet. Das CS-CNN erreicht über alle Szenen eine Genauigkeit von 94,2% und einen Heidke-Skill-Score von 0,905. Das RF-Modell erreicht Werte von 93,1% und 0,885. Die Laufzeit des

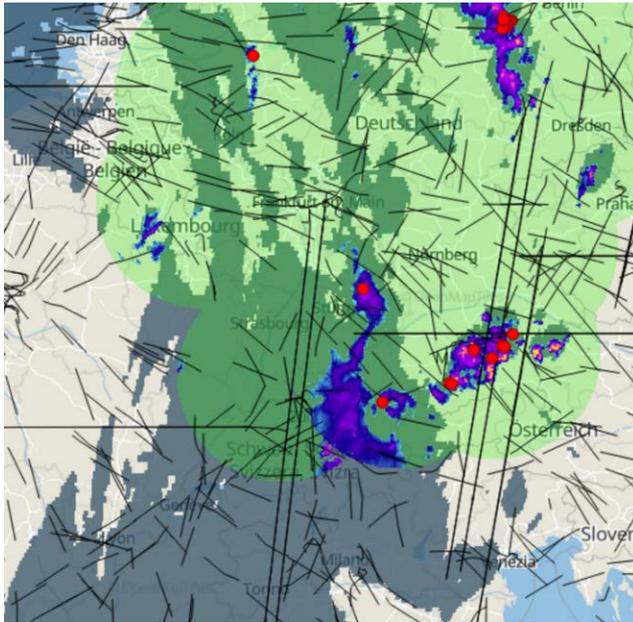
CS-CNNs auf einer GPU beträgt 25 Millisekunden und 1,24 Sekunden auf einer CPU. Im Vergleich dazu benötigt das RF-Modell 1,86 Sekunden auf der CPU.

### 2.2 Zeitreihen im Visualisierungs-, Transformations- und Analyse-System (VAT)

VAT ermöglicht eine webbasierte interaktive Datenvisualisierung und -exploration, um den Zugang und die Analyse von raum-zeitlichen Daten zu erleichtern. Es stellt Operatoren für die Verarbeitung und Kombination von Raster- und Vektordaten zur Verfügung. Die CS-CNN-Wolkenmaske und Regenradar-Daten werden in einem Beispiel mit Flugzeug-Trajektorien aus einem Event-Store (BEILSCHMIDT et al., 2019) verknüpft um Flugzeuge in Gewittern zu erkennen (vgl. Abb. 2). Die Kombination von visueller Analyse und explorativen Workflows in VAT ermöglicht es, diese für beliebige Ort- und Zeitpunkte anzuwenden. Derzeit arbeiten wir an einer engen Integration von Deep-Learning in VAT, um den Trainingsprozess zu vereinfachen, die gelernten Modelle zu nutzen und die Ergebnisse sofort zugänglich zu machen.



**Abb. 1:** Wolkenklassifikation der MSG-Szene vom 02.02.2011 09:00 Uhr UTC. Links ist die Klassifikation des CS-CNN und rechts die des Random-Forest zu sehen. Die korrekt klassifizierten Klassen entsprechen denen der CLAAS-2 Wolkenmaske. Die Abweichungen sind farblich, entsprechend der jeweiligen Klasse, hervorgehoben.



**Abb. 2:**

Die Kombination von Flugzeug-Trajektorien, einer Wolkenmaske und eines Regenradars in VAT ermöglicht eine Analyse von Flugzeugen in Gewitterzellen. Zu sehen sind Flugzeuge in Gewittern im Raum München (rote Punkte).

## Literatur

- BEILSCHMIDT, C., DRÖNNER, J., GLOMBIEWSKI, N., HEIGELE, C., HOLZNIGENKEMPER, J., ISENBERG, A., KÖRBER, M., MATTIG, M., MORGEN, A. & SEEGER, B. (2019), Pretty Fly for a VAT GUI: Visualizing Event Patterns for Flight Data. In: Proceedings of the 13th ACM International Conference on Distributed and Event-based Systems (DEBS '19): 224–227.
- BENAS, N., FINKENSIEPER, S., STENGEL, M., VAN ZADELHOFF, G.-J., HANSCHMANN, T., HOLLMANN, R., & MEIRINK, J. F. (2017), The MSG-SEVIRI-based cloud property data record CLAAS-2. In: Earth Syst. Sci. Data, 9, 415-434.
- DRÖNNER, J., KORFHAGE, N., EGLI, S., MÜHLING, M., THIES, B., BENDIX, J., FREISLEBEN & B., SEEGER, B. (2018), Fast Cloud Segmentation Using Convolutional Neural Networks. In: Remote Sens., 10: 1782.
- DRÖNNER, J., EGLI, S., THIES, B., BENDIX, J. & SEEGER, B. (2019), FFLSD - Fast Fog and Low Stratus Detection tool for large satellite time-series. In: Computers & Geosciences 128: 51-59.
- THIES, B. & BENDIX, J. (2011), Satellite based remote sensing of weather and climate: recent achievements and future perspectives. In: Met. Apps, 18: 262-295.

# Rostock auf Twitter

Ferdinand VETTERMANN

Professur für Geodäsie und Geoinformatik · Universität Rostock · Justus-von-Liebig-Weg 6 · 18059 Rostock  
E-Mail: ferdinand.vettermann@uni-rostock.de

## 1 Einführung ins Thema

Die Medienlandschaft wurde seit dem Jahr 2000 gehörig durcheinandergewirbelt. Mit dem Aufkommen des Internets hat sie sich radikal verändert. Die herkömmlichen Printmedien, aber auch TV und Radio sehen sich großen Herausforderungen ausgesetzt und müssen sich gegen eine immer stärkere Konkurrenz aus dem Netz erwehren (SEVENONE MEDIA GMBH 2018). Dabei scheint der „Gegner“ in seiner Reichweite und seinem Einfluss immer weiter voraus zu sein: Facebook, Twitter, Google, Netflix und Co (FREES & KOCH 2018).

Dennoch ist gerade in Deutschland das Potential dieses „Datenschatzes“, wohl vor allem bedingt durch Vorbehalte hinsichtlich des Datenschutzes, kaum im öffentlichen Bewusstsein vorhanden oder wird negativ konnotiert (DOBUSCH 2014). Dabei kann dieser ungenutzte „Datenschatz“ gerade in einem Bereich, welcher für die Öffentlichkeit hinsichtlich Lebensqualität einen großen, wenn nicht gar den größten Einfluss besitzt, zur Entscheidungsfindung beitragen, wie zum Beispiel bei der Stadtplanung und der dazugehörigen Entscheidungsunterstützung. So können Meinungen und Verhalten der Bevölkerung sowohl im Planerischen als auch bei Veranstaltungen und Extremereignissen berücksichtigt werden (FUCHS et al. 2013, LONGLEY & ADNAN 2015, RESCH et al. 2018 u. v. m.). Ziel ist es also letztlich, den Bürger mittels der neuen Technologien des Web 2.0 besser in die Entscheidungsfindungsprozesse einzubinden.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Frage, wie sich unter Einbeziehung der Datenflut aus den Sozialen Netzen eine Datenbasis erstellen lässt und Algorithmen entwickeln lassen, die notwendige und aktuelle Informationen als Grundlage für Handlungsanweisungen im öffentlichen Raum verfügbar machen. Aus diesen sollen sich sozio-kulturelle Hotspots, aber vor allem auch Einzelereignisse (Sturmfluten, extreme Gewitter etc.) und Großveranstaltungen wie z. B. die Hanse Sail in Rostock, identifizieren und analysieren lassen. Außerdem soll über eine Webpräsenz ein Überblick über Hotspots und diskutierte Themen gegeben werden. In das Gesamtkonzept sollen dabei neue Technologien des maschinellen Lernens und der neuronalen Netze einbezogen werden, um den aktuellen Forschungsergebnissen in der Computerlinguistik Rechnung zu tragen.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Datenerhebung und Analyse

Zur Datenerhebung kamen zum einen Python und die zugehörige Bibliothek Twython zum Auslesen des kostenlosen Twitterstreams und zum anderen ein Gazetteer basierter Vergleich des Tweettextes sowie zusätzlicher Informationen (Nutzerwohnort, Tweet-Historie) zum Einsatz. Des Weiteren sind mittels Support Vector Machines respektive Convolutional Neural Networks Stimmungen zugeordnet, mittels Latent Dirichlet Allocation und Term Frequenz – Inverse Document Frequenz aktuelle Themen identifiziert und mit Hilfe eines Fuzzy-basierten Vergleichs zu erwartende, relevante Themen annotiert worden.

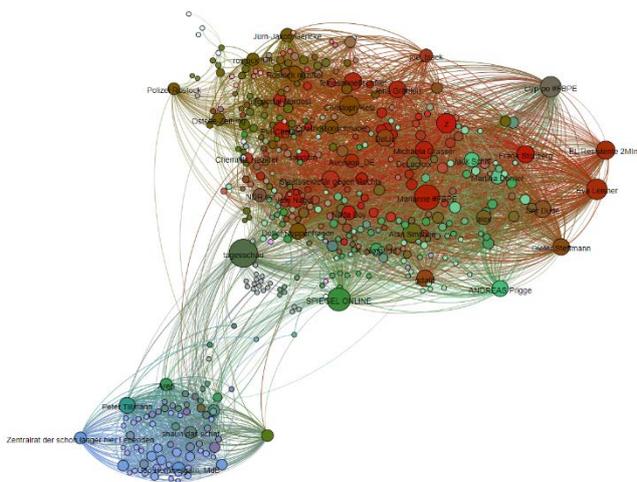
Eine konkrete Analyse fand dabei über einen Zeitraum von acht Wochen statt, bei der die Tweets mit Bezug zur Hanse- und Universitätsstadt Rostock verortet, kategorisiert und nach ihren Stimmungen analysiert worden sind. Insgesamt liefen in diesem Zeitraum 29771 Tweets auf, welche sich auf verschiedenen Genauigkeitsebenen mit einer Gesamtgenauigkeit von 83 % verorten ließen. Daneben war es möglich, aus diesen Daten ein Soziales Netz zu erstellen und entsprechende Beziehungen untereinander zu visualisieren.

### 2.2 Beispielhafte Aussagekraft anhand einer AfD-Demonstration

Die Möglichkeiten, die sich auch in eher bevölkerungsarmen Regionen bieten, werden folgend anhand eine AfD-Demonstration in Rostock am 22.09.2018 verdeutlicht. Durch Twitter war es möglich, den Verlauf der Demonstration in naher Echtzeit zu verfolgen (Abb. 1). Dabei wurden sowohl der Beginn der Gegendemonstrationen (1), als auch der Weg dieser durch die Stadt (2) und der Zusammenschluss mit einer weiteren Gegenveranstaltung (3) besonders deutlich. Gleichzeitig kristallisierten sich auch Schwerpunkte wie das Aufeinandertreffen von Demonstranten und Gegendemonstranten (4), die Blockade des Demonstrationszuges (5) und die abschließende Hauptveranstaltung der AfD (6) in naher Echtzeit heraus. Damit ließen sich aus den Tweets konkretes Konfliktpotential und damit auch konkrete Einsatzempfehlungen für die Sicherheitskräfte ableiten.



**Abb. 1:** Verlauf der AfD-Demonstration auf Twitter dargestellt mittels Space-Time-Cubes. Jeder Cube steht hierbei für 30 min zwischen 14 Uhr und 18.30 Uhr.



**Abb. 2:** Soziales Netz der Accounts mit Bezug zur AfD-Demonstration.

Anschließend wurden die Beziehungen der einzelnen Accounts untereinander visualisiert (Abb. 2). Rot sind hierbei die Accounts mit Bezug zur Gegendemonstration, Grün neutrale und blau AfD-nahe Accounts dargestellt. Es wird ersichtlich, dass die Accounts der AfD eine relativ abgeschottete Blase bilden, die lediglich über Nachrichtenportale wie Tageschau oder Spiegel Online verbunden sind.

Diese Informationen erlauben letztlich eine weitergehende, soziale oder auch sozialpolitische Analyse, können aber ebenfalls wieder wertvolle Zusatzinformationen, in diesem Fall konkret für Sicherheitskräfte, darstellen.

## Literatur

- DOBUSCH, L. (2014), Digitale Zivilgesellschaft in Deutschland: Stand und Perspektiven 2014, <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/95863/1/782374581.pdf>> (Stand: 2014).
- FREES, B. & KOCH, W. (2018), ARD/ZDF-Onlinestudie 2018: Zuwachs bei medialer Internetnutzung und Kommunikation. – Media Perspektiven 2018, 9, 398 -413.

- FUCHS, G., ANDRIENKO, N., ANDRIENKO, G., BOTHE, S. & STANGE, H. (2013), Tracing the German centennial flood in the stream of tweets. In: PFOSER, D. & VOISARD, A. (Hrsg.). GEOGROWD 2013: Second ACM SIGSPATIAL International Workshop on Crowdsourced and Volunteered Geographic Information. New York: ACM, 31–38.
- LONGLEY, P. A. & ADNAN, M. (2015), Geo-temporal Twitter demographics. – International Journal of Geographical Information Science 30, 2, 369–389.
- RESCH, B., USLÄNDER, F. & HAVAS, C. (2018), Combining machine-learning topic models and spatiotemporal analysis of social media data for disaster footprint and damage assessment. – Cartography and Geographic Information Science 45, 4, 362–376.
- SEVENONE MEDIA GMBH (2018), Media Activity Guide 2018: Trends in der Mediennutzung, <<https://www.sevenonemedia.de/documents/924471/1111769/Media+Activity+Guide+2018/0d7f33af-210a-682c-6c21-9aad7ae863f8>> (Stand: 2018).

# Internet of Things and Sensor Networks

Sebastian STEINHORST

Associate Professorship of Embedded Systems and Internet of Things · Technical University of Munich · Arcisstr. 21 · 80333 Munich  
E-Mail: sebastian.steinhorst@tum.de

## 1 Introduction

Distributed cyber-physical system architectures are emerging in many application areas with the advent of the Internet of Things (IoT). For such connected devices, conventional centralized system architectures are reaching their limits regarding manageability, scalability and efficiency. Hence, design approaches are required where centrally coordinated networks of these devices are developed towards self-organizing architectures. Here, smart algorithms will enable system-level functionality and achievement of common goals in a distributed fashion without central coordination. When properly designed, such fully decentralized architectures will provide scalability, modularity, efficiency and robustness beyond the capabilities of centralized architectures.

However, strong resource limitations in many application areas such as environmental monitoring and smart sensing impose strict constraints regarding computation, communication and energy. Hence, advanced methodologies for co-design of hardware/software architectures, distributed algorithms and secure communication are required such that the goals of safety, security, efficiency and scalability can be reached.

## 2 Decentralizing IoT Smart Sensing Applications

This talk will give an introduction into the emerging field of the Internet of Things, briefly discussing its past, present and future. A specific outlook to the challenges of future system architecture design will be given, proposing a decentralization of the control and communication of IoT systems.

Internet of Things (IoT) applications are based on embedded computing devices equipped with internet communication capabilities, performing advanced sensing and actuation tasks in contexts such as smart buildings, smart cities, smart energy grids, etc. Conventional system architectures for such IoT applications are evolutionary developments of cloud computing concepts, where the IoT end devices communicate in a hierarchical fashion with central server architectures. The servers provide control, coordination, management and data storage for these devices. Such centralized concepts, however, might not be the desired architecture when system robustness, scalability and security are considered. A single point of failure exists and the computational capabilities, which are available when considering a large network IoT end devices, are not utilized for system-level functionality but only to enable the point-to-point functionality with the upper hierarchy layers. Furthermore, such centralized infrastructures scale worse compared to decentralized peer-to-peer architectures, where the distributed nodes of the network create the system-level functionality without central coordination.

Future IoT applications will be characterized by highly dynamic user adaptation rates and might no longer allow demand-based central infrastructure scaling. By contrast, decentralized architectures are considered to perform well regarding scaling, robustness and also bring resiliency from a security perspective if attack vectors are not centrally located. Especially in the context of applications based on advanced sensing functionality where homogeneous tasks among the network nodes exist, a co-operative system architecture might outperform centrally organized solutions in critical parameters.

To enable decentralized architecture, especially in the domain of advanced sensor networks, a trend towards standardized systems with interoperable interfaces can be observed. Consequently, an important development in the area of interoperability is the standardization of the Web of Things (WoT) by the World Wide Web Consortium (W3C). Here, the W3C Thing Description standard (to which we are actively contributing) describes the capabilities of IoT devices in a semantically strong form such that devices will be able to coordinate themselves by exchanging their capabilities and hence collaborate to perform a system-level functionality (KORKAN, KÄBISCH, KOVATSCH & STEINHORST 2018 and KORKAN, KÄBISCH, KOVATSCH & STEINHORST 2020). Further steps will introduce semantics and algorithms for a system-level description such that the system-level functionality of the composed decentralized IoT system can be formally defined.

## Literature

KORKAN, E., KÄBISCH, S., KOVATSCH, M. & STEINHORST, S. (2018), Sequential Behavioral Modeling for Scalable IoT Devices and Systems. In: 2018 Forum on specification and Design Languages (FDL). Germany, Sept. 2018. DOI: 10.1109/FDL.2018.8524065.

KORKAN, E., KÄBISCH, S., KOVATSCH, M. & STEINHORST, S. (2020), Safe Interoperability for Web of Things Devices and Systems. In: Tom Kazmierski, Sebastian Steinhorst, Daniel Große (eds) Languages, Design Methods, and Tools for Electronic System Design. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 611. Springer, Cham 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-31585-6\_3.

# Dissemination of Spatiotemporal Events in the IoT using GeoMQTT

Stefan HERLE

Geodetic Institute and Chair for Computing in Civil Engineering & Geo Information Systems · RWTH Aachen University · Mies-van-der-Rohe-Str.1 · 52076 Aachen  
E-Mail: herle@gia.rwth-aachen.de

## 1 Introduction

The Internet of Things (IoT) is regarded as one of the most disruptive technologies of the century (ALKHATIB et al. 2014). Current, evolving or future IoT applications often involve the use and acquisition of geospatial data. This data issued by connected objects in the IoT consists of a geospatial component such as the location of the object. Further, it has a timestamp or time interval, which for example may indicate a time point of a sensor measurement or of a property change. Therefore, the data can be regarded as spatiotemporal events, which are published in real-time by various systems using different means of the Internet.

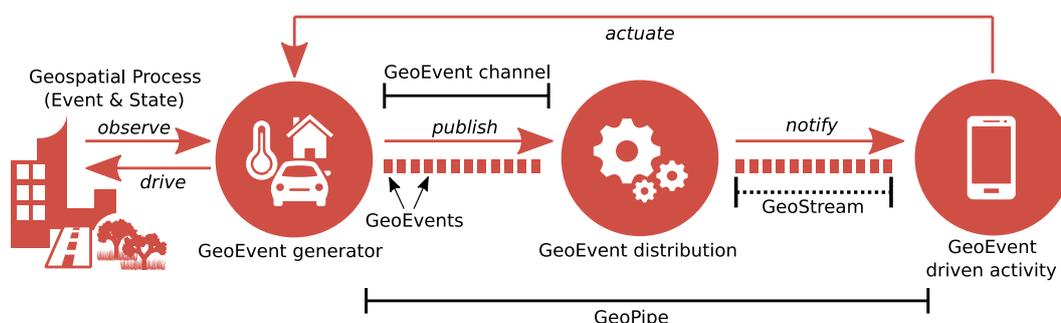
Geospatial IoT applications such as smart city applications rely on the real-time dissemination and delivery of these spatiotemporal events to process, analyse and invoke subsequent action in time. Thereby, a sophisticated mechanism to disseminate the spatiotemporal events to interested systems or objects is required. This includes filtering capabilities to distinguish between meaningful and meaningless spatiotemporal events. However, the distinction between meaningful and meaningless differs from system to system. Some objects only require the spatiotemporal events in close proximity; for instance an autonomous vehicle in a city needs to know the spatiotemporal events that happen a few meters away, but has no interest in events published at the other end of the city. By incorporating spatial and temporal filtering into the dissemination process, meaningful events can be extracted on a system-by-system basis and, thus, the overall number of send messages can be reduced drastically.

This contribution introduces an architecture for Geospatial IoT applications that is driven by spatiotemporal events. The architecture implements a sophisticated filtering and dissemination of these events using GeoMQTT, an extension of the widely employed IoT protocol Message Queuing and Telemetry Transport (MQTT). With GeoMQTT, systems may specify their interested in events by defining spatial and temporal filters, so that they receive solely meaningful events. Additionally, the contribution implements the integration of the proposed architecture in contemporary GIS technologies and Spatial Data Infrastructures (SDI).

## 2 Summary of the talk

### 2.1 A GeoEvent-driven Architecture for a Geospatial IoT

Spatiotemporal events in Geospatial IoT applications often drive a feedback loop which involves different systems: events of the physical world are observed by sensor platforms, they are analysed by processes, decision are made based on the results and predictions, and downstream activities are invoked. The spatiotemporal events must be disseminated between the parts of the application. The talk introduces an architecture based on the dissemination of spatiotemporal events. The architecture orientates on the pattern of Event-driven Architectures (EDA), which is here driven by GeoEvents, a message type to encode spatiotemporal events (Fig. 1). In this EDA, a generator (e.g., a sensor) publishes GeoEvents to a distributor that disseminates the GeoEvents to interested systems to drive downstream activities. The dissemination process is controlled by the specification of interests through topic, spatial and temporal filters.



**Fig. 1:** An EDA pattern for the Geospatial IoT (Source: HERLE 2019).

## 2.2 Dissemination using GeoMQTT

The dissemination of GeoEvents in the proposed architecture is implemented by GeoMQTT, an extension of the MQTT protocol (ISO/IEC JTC 1 2016). MQTT is a topic-based publish/subscribe protocol, which utilizes a broker to forward events to subscribers. The subscriptions are specified by a topic filter. In GeoMQTT this filtering mechanisms is additionally advanced by spatial and temporal capabilities. Events are annotated with a topic, a geometry and a timestamp or time interval. The broker disseminates the events based on the evaluation results of the filters specified in the subscriptions and the metadata of the events (Fig. 2).

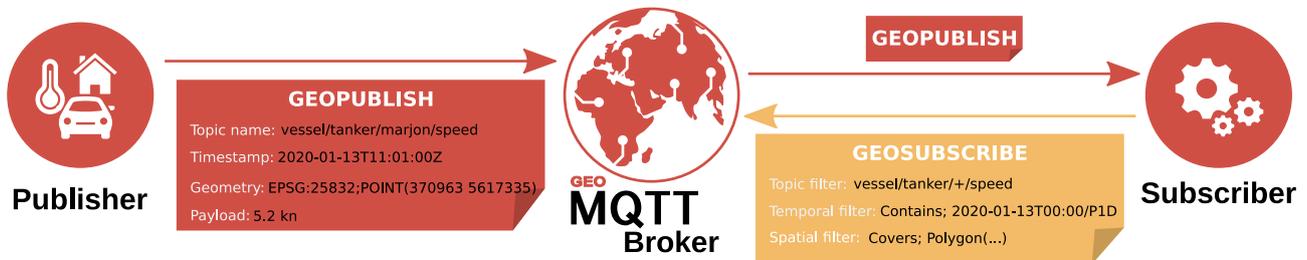


Fig. 2: GeoMQTT messages and dissemination mechanism (Source: HERLE 2019).

Each GeoSubscription specifies a spatial and a temporal filter. The temporal filter is composed of a time stamp or a time interval indicated with an ISO 8601 representation or a cron expression, and a temporal relation between time points or time intervals. The spatial filter follows a similar pattern. It is defined by an arbitrary 2D geometry and a spatial relation according to the DE-9IM (HERRING 2011). The geometry can be specified in different encoding standards (e.g., WKT, GML or GeoJSON) and with any Coordinate Reference System (CRS). When forwarding messages to subscribers, the broker transforms the geometry of the GeoEvent in the asked CRSs and encodings.

## 2.3 GeoEvent Bus for dissemination of GeoEvents

The dissemination mechanism of GeoMQTT allows the interconnection of different producers and consumers of GeoEvents by an event bus (Fig. 3). Producers and consumers of GeoEvents might be sensors attached to IoT objects, but can also be software systems or human users. Therefore, different GeoMQTT clients were realized to enable participation of a wide range of systems. Besides IoT devices, various GIS and SDI software may connect to the GeoEvent bus. For instance, a QGIS plugin for receiving GeoEvents in a desktop GIS solution was implemented. Further, a REST interface and an adapter for Sensor Web Enablement (SWE) services allow requesting historic GeoEvents or publishing GeoEvents by HTTP. Also, a Web Processing Service (WPS) server was enhanced to enable GeoEvent stream processes in real-time.

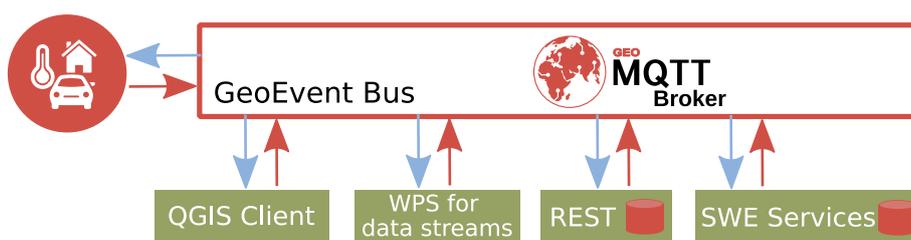


Fig. 3: GeoEvent Bus with different producers and consumers of GeoEvents (Adapted from: HERLE 2019).

## Literature

- ALKHATIB, H., FARABOSCHI, P., FRACHTENBERG, E., KASAHARA, H., LANGE, D., LAPLANTE, P., MERCHANT, A., MILOJICIC, D., & SCHWAN, K. (2014), IEEE CS 2022 Report, IEEE Computer Society.
- HERLE, S. (2019), A GeoEvent-driven Architecture based on GeoMQTT for the Geospatial IoT (doctoral thesis). Publication series of the Geodetic Institute of RWTH Aachen University, No. 71. URL: <http://publications.rwth-aachen.de/record/772603> (last access: 05.02.2020).
- HERRING, J. R. (2011), OpenGIS Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture - Version 1.2.1," OpenGIS® Implementation Standard, 06-103r4.
- ISO/IEC JTC 1 (2016), Information technology – Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1, ISO/IEC Standard, 20922.

# Sensornetzwerke in Stadt und Land - Alternativen zu 5G

Bruno WILLENBORG<sup>1</sup> und David GACKSTETTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstr. 21 · 80333 München

E-Mail: b.willenborg@tum.de

<sup>2</sup>Hans Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften · Liesel-Beckmann-Str. 2 · 85354 Freising

E-Mail: david.gackstetter@tum.de

## 1 Einführung ins Thema

Im heutigen Technologiezeitalter stellt das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) eines der allgegenwärtigsten und dominierenden technologischen Konzepte dar. Es repräsentiert die Idee eines gemeinsamen Kommunikationsnetzwerks über alle Arten von miteinander verbundenen physikalischen Geräten, z.B. zur für Sensorik (SUHONEN et al. 2006). Ein IoT-Netzwerk soll eine gemeinsame Plattform für den automatisierten Datenaustausch zwischen allen Netzwerkmitgliedern bieten. Das IoT umfasst dabei nicht nur das klassische Machine-to-Machine-Internet, sondern auch die Mensch-zu-Maschine-, Mensch-zu-Mensch- oder Maschine-zu-Mensch-Kommunikation (CHAKRABORTY et al. 2020).

Bei der physikalischen Realisierung von IoT- oder Sensornetzwerken ist 5G, der neue Funkstandard der Mobilfunkindustrie, derzeit in aller Munde. Durch deutlich erhöhte Übertragungsraten gegenüber den bestehenden Funktechnologien von bis zu 10 Gigabit pro Sekunde sollen in Zukunft z.B. schnelles Internet in ländliche Regionen gebracht werden und datenintensive Technologien wie das autonome Fahren ermöglicht werden. Für die Anforderungen von vielen Anwendungen im Kontext der Digitalisierung von Städten und der Landwirtschaft ist 5G jedoch ungeeignet. Die hohen Datenraten, die gleichzeitig eine erhöhte Leistungsaufnahme und Nutzungsgebühren mit sich bringen, werden in vielen Fällen nicht benötigt.

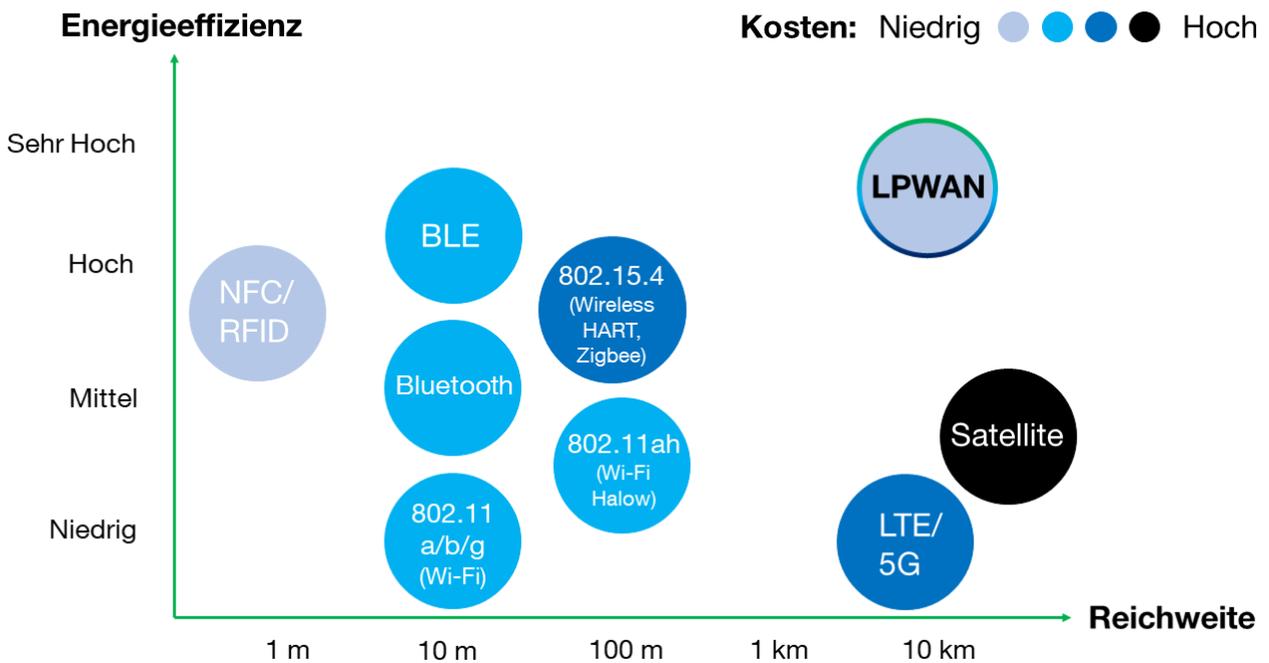
Low Power Wide Area Netzwerke (LPWAN) ermöglichen Datentransfer mit sehr geringem Stromverbrauch über große Strecken bei geringen Datenraten, was den Anforderungen von typischen Anwendungsszenarien aus den Themenfeldern Smart City und Smart Farming entspricht, da sich interessante Standorte für den Einsatz von Sensorik und IoT-Technologie oft durch eine fehlende Versorgung mit Strom und Internetanschlüssen auszeichnen. In diesem Beitrag soll es um die Realisierung von Sensornetzwerken auf Basis von LPWAN mit quelloffenen Standards und Software zur Verwaltung der Sensordaten gehen.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Gegenüberstellung verschiedener IoT-Funktechnologien mit LPWAN

Mit dem rasanten Wachstum an IoT-Technologien geht eine zunehmende Anzahl praktischer Anwendungen in vielfältigsten Bereichen einher, wie etwa in der digitalen Landwirtschaft, der intelligenten Messtechnik, in Smart Cities oder dem Smart Home. IoT-Anwendungen haben spezifische Anforderungen hinsichtlich Übertragungreichweiten, erforderlichen Datenraten, sowie Energie- und Kosteneffizienz. Die weit verbreiteten Funktechnologien mit kurzer Reichweite (z.B. ZigBee, Bluetooth) sind generell nicht für Szenarien geeignet, die eine Übertragung über längere Strecken erfordern. Lösungen, die auf zellulärer Kommunikation basieren (z.B. LTE und 5G), können zwar größere Reichweiten und hohe Datenraten ermöglichen, bringen jedoch gleichzeitig vergleichsweise hohe Energiebedarfe mit sich. Die Anforderungen von IoT-Anwendungen haben daher die Entstehung eines neuen Zweigs drahtloser Kommunikationstechnologien vorangetrieben: das Low Power Wide Area Network (LPWAN).

LPWAN gewinnt in Industrie- und Forschungsgemeinschaften aufgrund geringer Energieverbräuche, großen Reichweiten und kostengünstiger Kommunikationseigenschaften zunehmend an Popularität. Es ermöglicht Langstreckenkommunikation mit Reichweiten von bis zu 40 km in ländlichen Bereichen und bis zu 5 km in städtischen Gebieten (SINHA et al. 2017). Darüber hinaus zeichnen sich LPWAN durch eine hohe Energieeffizienz (d.h. mehrere Jahre Batterielebensdauer) und geringe Kosten für die Hardware und den Betrieb aus. Viele LPWAN-Technologien sind sowohl in der lizenzierten als auch in der nicht-lizenzierten Frequenzbandbreite entstanden. Unter ihnen sind Sigfox, LoRa und NB-IoT - die heute führenden LPWAN-Technologien. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass LPWAN-Technologien insbesondere für IoT-Anwendungen geeignet sind, welche nur geringe Datenmengen über große Reichweite bei maximaler Energieeffizienz übertragen müssen, wie im Bereich der Landwirtschaft oder abgelegener Smart City - Anwendungen.



**Abb. 1:** Gegenüberstellung verschiedener IoT-Funktechnologien hinsichtlich Energieeffizienz, Nutzungskosten und Kommunikationsreichweite. LPWAN-Technologien zeigen zu diesen drei Faktoren jeweils besonders positive Charakteristika.

## 2.2 Urbane und landwirtschaftliche Sensornetzwerke auf Basis von LoRaWAN

Anfangs eher an Standorte mit lokal fest installierter Versorgungsinfrastruktur gebunden, sind IoT-Sensornetzwerke heute dank vielfältiger technologischer Innovationen flexibler und robuster geworden und dadurch zunehmend auf Bereiche mit schwierigen Rahmenbedingungen anwendbar. Insbesondere der landwirtschaftliche sowie außenräumliche, städtische Anwendungskontexte profitieren von diesem dynamisch fortschreitenden, technischen Fortschritt (MINBO et al. 2013). Anwendungsstandorte zeichnen sich hierbei häufig durch eine mangelnde, feste Versorgung mit Strom und Internetanschlüssen sowie eine ausgeprägte Exposition gegenüber rauen Umweltbedingungen aus; beides bringt besondere Anforderungen an die Hardware- und Kommunikationsgestaltung von IoT-Lösungen mit sich. Der LoRaWAN-Standard stellt eine wichtige Technologie im Bereich der LPWAN dar, welcher seine Eignung für IoT-Anwendungen unter herausfordernden Rahmenbedingungen zunehmend unter Beweis stellt (MINBO et al. 2013 & CHAKRABORTY et al. 2020). Dieser Trend basiert grundsätzlich auf den folgenden technologischen Merkmalen des Standards:

**Große Reichweite & Verfügbarkeit:** LoRaWAN stellt die Übertragung über große Entfernungen durch eine effiziente Long Range (LoRa)-Modulationstechnik her, die in Deutschland bei 868 MHz arbeitet. Die Übertragungsreichweite reicht typischerweise von bis zu 5 Kilometern in städtischen Gebieten bis zu potenziell mehr als 40 Kilometern in ländlichen Gebieten.

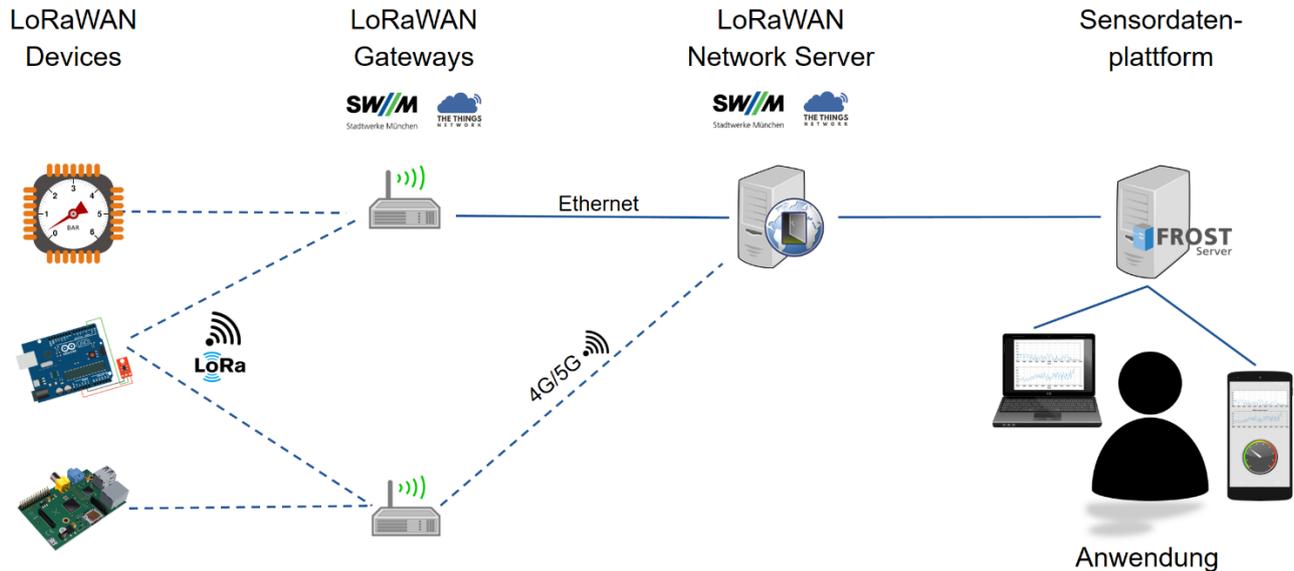
**Geringer Energiebedarf:** Der LoRaWAN-Standard bewerkstelligt einen niedrigen Energiebedarf durch niedrige Datenübertragungsraten (0,3 bis 50 kbit/s) und dem Betrieb auf energiearmen Übertragungsfrequenzen (z.B. im Vergleich zu Wi-Fi- oder Mobilfunknetzen).

**Niedrige Kosten:** Sensornetzwerke umfassen typischerweise eine große Anzahl von verbundenen Geräten. Ihre Netzwerkverbindung ist innerhalb von LANs im Allgemeinen nicht kostenintensiv. In WAN können jedoch höhere Kosten durch die Nutzung von Funknetzwerken entstehen, die auf lizenzierten, gebührenpflichtigen Frequenzbändern operieren. Die Nutzung von LoRaWAN ist sowohl in Bezug auf die Spezifikation selbst als hinsichtlich der jeweiligen Frequenzbänder kostenlos.

**Datensicherheit:** Das Prinzip der gegenseitigen Authentisierung zwischen einem LoRaWAN-Terminal und dem Netzwerk stellt sicher, dass nur originale und autorisierte Geräte an das authentische Netzwerk angeschlossen werden können, und dass nur eine entsprechende, autorisierte Anwendung Zugriff auf den Inhalt eines übertragenen Datenpakets erhält (HAXHIBEQIRI et al. 2018).

## 2.3 Sensornetzwerke mit offenen Standards und Open Source Software

In den letzten Jahren ist am Lehrstuhl für Geoinformatik (TUM) im Rahmen von Lehre und Forschung eine Sensornetzwerkarchitektur realisiert worden (siehe Abb. 2), die vollständig auf offene Standards und freie Softwarelösungen setzt. Im Rahmen der Präsentation soll diese Architektur vorgestellt werden.



**Abb. 2:** Architektur eines Sensornetzwerkes auf Basis von LoRaWAN: Die Sensordaten gelangen von den Sensorknoten (Devices) über LoRaWAN-Gateways zum LoRaWAN-Netzwerkserver. Von hier werden die Daten über das Internet in eine Sensordatenplattform weitergeleitet, die die Datenhaltung übernimmt und den Datenzugriff mit offenen Standards für Anwender und Dienste ermöglicht.

## Literatur

- CHAKRABORTY S., DAS P. & PAL S. (2020), IoT Foundations and Its Application. In: Pattnaik P., Kumar R., Pal S., Panda S. (eds) IoT and Analytics for Agriculture. Studies in Big Data, vol 63. Springer, Singapore.
- HAXHIBEQIRI, J., POORTER, E., MOERMAN, I. & HOEBEKE, J. (2018), A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. In: Sensors (Basel, Switzerland) 18 (11). DOI: 10.3390/s18113995.
- MINBO, L., ZHU, Z. & GUANGYU, C., (2013), Information Service System Of Agriculture IoT. In: Automatika 54 (4), S. 415–426. DOI: 10.7305/automatika.54-4.413.
- SINHA, R., WEI, Y. & HWANG, S., (2017): A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. In: ICT Express 3 (1), S. 14–21. DOI: 10.1016/j.ict.2017.03.004.
- SUHONEN J., KOHVAKKA M., HÄNNIKÄINEN M. & HÄMÄLÄINEN T.D. (2006), Design, Implementation, and Experiments on Outdoor Deployment of Wireless Sensor Network for Environmental Monitoring. In: Vassiliadis S., Wong S., Hämmäläinen T.D. (eds) Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling, and Simulation. SAMOS 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 4017. Springer, Berlin, Heidelberg.

# Der digitale Zwilling in der Industrie 4.0

Dr. Matthias Goldstein

Siemens AG · Digital Industries Software · Otto-Hahn-Ring 6 · 81739 München

E-Mail: matthias.goldstein@siemens.com

## 1 Basis für Industrie 4.0

Der digitale Zwilling hat längst Einzug in die Industrie gehalten und revolutioniert dort die Abläufe entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Als virtuelles Abbild des Produkts, der Produktion oder der Performance ermöglicht er eine nahtlose Verknüpfung der einzelnen Prozessschritte. Das steigert durchgängig die Effizienz, minimiert die Fehlerquote, verkürzt die Entwicklungszyklen und eröffnet außerdem neue Geschäftsmöglichkeiten – sorgt also für eine nachhaltig gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit.

Das IT-Analyse- und Marktforschungsinstitut Gartner rechnet genau aus diesen Gründen damit, dass bereits 2021 die Hälfte der größeren Industrieunternehmen den digitalen Zwilling einsetzen und ihre Effektivität so um zehn Prozent steigern können (<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/>). Um das volle Potenzial der Zwillinge zu heben, müssen die realen Systeme künftig allerdings nicht nur miteinander vernetzt sein, sondern selbst Köpfcchen entwickeln und autonom agieren. Die Entwicklung geht in Richtung künstlicher Intelligenz – von der bloßen gegenseitigen Wahrnehmung und Interaktion hin zur Kommunikation und eigenständigen Optimierung.

Zur Entwicklung solcher digitalen Zwillinge braucht es leistungsstarke und integrierte Software-Systeme, die den digitalen Zwilling über die gesamte Wertschöpfungskette realisieren – für die Planung und das Design von Produkten, Maschinen und Anlagen sowie für den Betrieb von Produkten und Produktionssystemen. Die Anwender können so wesentlich flexibler und effizienter agieren und individualisierter produzieren.

## 2 Mehrwert durch den digitalen Zwilling

### 2.1 Vorteile des digitalen Zwillings im Überblick

Der **digitale Zwilling des Produkts** entsteht bereits im Stadium der Definition und des Designs eines geplanten Produkts. Dies ermöglicht die Simulation und Validierung von Produkteigenschaften, angepasst an die jeweiligen Bedürfnisse: Ist das Produkt etwa stabil und intuitiv nutzbar? Bietet die Fahrzeugkarosserie möglichst wenig Luftwiderstand? Funktioniert die Elektronik zuverlässig? Egal ob Mechanik, Elektronik, Software oder Systemverhalten – durch den digitalen Zwilling kann dies alles bereits im Vorfeld getestet und optimiert werden.

Ähnliches gilt für den **digitalen Zwilling der Produktion**: Er bildet den Einsatz von Maschinen und Anlagensteuerungen bis hin zu ganzen Fertigungsstraßen in der virtuellen Umgebung ab. Durch diese Simulation kann die Produktion mit SPS-Code-Generierung und virtueller Inbetriebnahme vorab optimiert werden. Fehler- oder Störquellen werden so schon vor dem Betriebsstart erkennbar und können verhindert werden. Das spart Zeit und ist ein Wegbereiter für die individuelle Massenproduktion, da auch hochkomplexe Fertigungswege in kürzester Zeit aufwandsarm berechnet, getestet und programmiert werden können.

Der **digitale Zwilling der Performance** wird wiederum laufend mit Daten aus dem Betrieb von Produkten oder Produktionsanlagen gefüttert. So können etwa laufend Zustandsdaten aus Maschinen oder Energieverbrauchsdaten von Fertigungssystemen verfolgt werden. Auf dieser Basis lassen sich vorausschauende Instandhaltungsstrategien realisieren, um Ausfallzeiten zu verhindern oder den Energieverbrauch zu optimieren. Manche Unternehmen entwickeln auf dieser Basis mit datenbasierten Services auch neue Geschäftsmodelle, wie etwa das Beispiel des Maschinenbauers Heller zeigt. Gleichzeitig können datenbasierte Erkenntnisse über Systeme wie MindSphere – das offene, cloudbasierte IoT-Betriebssystem von Siemens – in die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zum Produktsystem zurückgespielt werden. Hierdurch entsteht ein vollständig geschlossener Entscheidungskreislauf für fortlaufende Optimierungen.

### 2.2 Nutzen über alle Ebenen hinweg

Bereits heute können Kunden mit dem Digital-Enterprise-Angebot von Siemens in zukunftsfähige Lösungen für die schrittweise Realisierung von Industrie 4.0 investieren. So nutzt beispielsweise der Sondermaschinenbauer Bausch + Ströbel die Digitalisierung für ein durchgängiges Engineering. Allein dadurch wird eine Effizienzsteigerung von mindestens 30 Prozent erwartet.

Auch die Firma Schunk, Weltmarktführer für Spanntechnik und Greifsysteme, nutzt bereits heute Digitalisierungslösungen für seine elektrisch gesteuerten Greifsystemkomponenten. Durch diesen neuen Engineering-Prozess können die Projektlaufzeiten signifikant verkürzt werden. Es werden eine schnellere Inbetriebnahme und eine deutliche Effizienzsteigerung beim Bau ähnlicher Anlagen erwartet.

Genauso spannend sind die Potenziale, die der digitale Zwilling durch die bessere Dokumentation von Fertigungsprozessen und Produktionsparametern im Qualitätsmanagement bietet. Wenn ein Hersteller genau weiß, welches Bauteil mit welchen Merkmalen in welchem seiner Produkte wie verbaut worden ist, kann er zielgerichtet auf eventuelle Probleme reagieren und Prozesse optimieren. In seiner Simatic-Produktion in Amberg hat Siemens bereits ein umfassendes Dokumentations- und Auswertesystem im Einsatz und damit ein extrem niedriges Fehlerniveau in der Fertigung erreicht.

Und auch in der Prozessindustrie sorgt der digitale Zwilling für mehr Effizienz und Produktivität: Mit dem Schritt von Integrated Engineering zu Integrated Operations ermöglicht es Siemens Unternehmen der Prozessindustrie, ein durchgehendes Datenmodell vom Anlagenengineering bis hin zum Betrieb aufzubauen. Auch hier sorgt die Digitalisierung für kürzere Markteinführungszeiten, mehr Flexibilität und Effizienz. Damit besteht einmal mehr die Möglichkeit für Unternehmen, der Volatilität und Heterogenität der globalen Märkte Rechnung zu tragen und immer produktiver sowie energie- und ressourceneffizienter zu wirtschaften.

## **Link**

<https://new.siemens.com/global/de/unternehmen/stories/industrie/der-digitale-zwilling.html>

# Deep Learning für Anwendungen in Photogrammetrie und Fernerkundung

Franz ROTTENSTEINER

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation · Leibniz Universität Hannover · Nienburger Straße 1 · 30167 Hannover  
E-Mail: rottensteiner@ipi.uni-hannover.de

## 1 Einführung ins Thema

Die automatische semantische Auswertung von Bildern und damit auch von Fernerkundungsdaten wird von Verfahren des maschinellen Lernens dominiert. Dabei wird, ausgehend von einer Trainingsstichprobe, die aus Daten mit gewünschtem Ergebnis besteht, ein Klassifikator angelernt, der für neu zu bearbeitende Daten das Ergebnis automatisch prädiziert. Seit einigen Jahren haben Verfahren des *Deep Learning* ihren Siegeszug angetreten. Es sind dies Varianten von künstlichen Neuronalen Netzen, in der Auswertung von Bildern meistens so genannte *Convolutional Neural Networks* (CNN) (LECUN et al. 1989). Der Begriff „Deep“ bezieht sich in diesem Kontext darauf, dass solche Netze eine „tiefe“, d.h. aus zahlreichen Prozessierungsschichten bestehende Architektur aufweisen. Dadurch können CNN komplexe Verteilungen von Daten im Merkmalsraum lernen und somit für Klassifikationsaufgaben hohe Genauigkeiten erzielen. Während CNN schon vor über 30 Jahren entwickelt wurden, haben sie ihren Siegeszug in der Computer Vision erst seit 2012 angetreten, als das *AlexNet* genannte Netzwerk die ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) mit großem Abstand gewann (KRIZHEVSKY et al. 2012). Grundlage dafür war neben kleineren algorithmischen Verbesserungen zur Vermeidung numerischer Probleme beim Training vor allem die Verfügbarkeit sowohl von schneller Hardware (Graphikkarten) als auch von einer großen Menge an Trainingsdaten. Seither haben CNN auch in der Fernerkundung zahlreiche Anwendungen gefunden (ZHU et al. 2017). Es können damit im Vergleich zu anderen Verfahren deutliche Verbesserungen der bei der Klassifikation zu erwartenden Genauigkeiten in der Größenordnung von bis zu 10% erreicht werden, wenn eine ausreichende Menge an Trainingsdaten zur Verfügung steht. Die letztgenannte Einschränkung stellt gleichzeitig eines der größten Hindernisse für die Applikation von CNN dar, weil sie im Vergleich zu anderen Verfahren Trainingsdaten in einem größeren Umfang benötigen.

Der vorliegende Beitrag versteht sich als Überblick über Anwendungen von CNN in Photogrammetrie und Fernerkundung. Er bringt zunächst eine kurze Einführung in die Algorithmik und einen Überblick über verschiedene Netzwerkarchitekturen für unterschiedliche Aufgabenstellungen. Danach werden Besonderheiten von Fernerkundungsdaten besprochen, die bei der Übertragung von Verfahren aus der Computer Vision auf solche Daten berücksichtigt werden müssen. Schließlich werden exemplarisch zwei Anwendungen aus der Forschungsarbeit des Autors gezeigt: die Klassifizierung von Bildern für die Aktualisierung von GIS und die Domänenadaption zur Reduktion des Bedarfs an Trainingsdaten.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Convolutional Neural Networks (CNN)

CNN (LECUN et al. 1989, KRIZHEVSKY et al. 2012) nehmen ein Bild einer fixen Größe als Input und führen auf diesen Daten Faltungsoperationen durch. Anschließend wird eine nichtlineare Funktion, oft die ReLu-Funktion (Rectified Linear Unit; KRIZHEVSKY et al. 2012)  $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$  auf das Ergebnis angewandt, und die geometrische Auflösung des resultierenden Bildes (*feature map*; Merkmalskarte) wird reduziert, wobei an jeder Position im Bild nur die maximale Filterantwort in einem lokalen Fenster weiter propagiert wird (*Pooling*). Diese Struktur, bestehend aus mehreren Faltungen (*Convolutions*), Nichtlinearität und Pooling, wird mehrmals wiederholt, wodurch die Auflösung sukzessive reduziert wird und ein „tiefes“ Netz entsteht. Ursprünglich wurde dabei, wie auch bei der ILSVRC, davon ausgegangen, dass das Bild im Wesentlichen nur ein Objekt enthält. Die letzte Pooling-Operation liefert dann den Input für ein mehrlagiges neuronales Netz, das am Ende Wahrscheinlichkeiten für die Klassenzugehörigkeit des im Bild dargestellten Objektes liefert. Beim Training wird, ausgehend von einer Initialisierung, zunächst jedes Trainingsbild durch das CNN mit dessen aktuellen Parametern klassifiziert. Anschließend werden die Ergebnisse mit dem für das Trainingsbild bekannten korrekten Klassenlabel verglichen. Daraus wird eine Verlustfunktion sowie deren Gradient berechnet, die Parameter werden entsprechend dem Gradienten angepasst. Der Erfolg von CNN beruht wesentlich darauf, dass dadurch eine sehr komplexe Transformation der ursprünglichen Daten in einen Merkmalsraum gelernt werden kann, in dem die Klassen durch einen einfachen Klassifikator getrennt werden können.

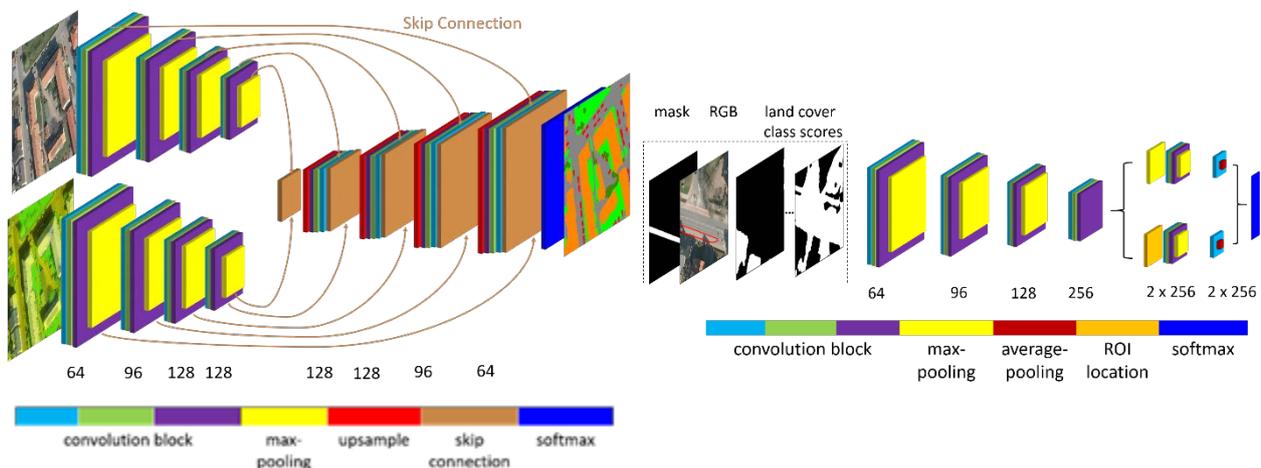
Für die pixelweise Klassifikation eines Bildes, in der Computer Vision *semantische Segmentierung* genannt, besteht das Problem darin, dass durch die Pooling-Operationen die Auflösung der Merkmalskarten sukzessive reduziert wird, wodurch Information über die präzise Lokalisierung von Objekten, besonders von deren Rändern, verloren geht. Sogenannte Fully Connected Networks (FCN) (LONG et al. 2015) führen die speziellen Schichten zum Upsampling des aus

der Merkmalskarte mit der niedrigsten Auflösung kommenden Signals auf die Auflösung des Eingangsbilds ein, mit deren Hilfe für jedes Pixel des Eingangsbilds ein Klassenlabel präzidiert werden kann. Das Upsampling kann in einem Schritt erfolgen, oder es wird wie z.B. bei der U-Net Architektur (RONNEBERGER et al. 2015) eine symmetrische Struktur für die Teile des Netzwerks zur Reduktion bzw. Erhöhung der Auflösung gewählt.

CNN und insbesondere Varianten von FCN haben inzwischen auch in Photogrammetrie und Fernerkundung (Ph & FE) Verbreitung gefunden, weil sie die erreichbare Klassifikationsgenauigkeit im Vergleich zu anderen Verfahren deutlich (bis zu 10%) gesteigert haben. Einen Überblick über Anwendungen in Ph & FE sowie typische dabei auftretende Probleme liefern ZHU et al. (2017). So werden in Ph & FE sehr unterschiedliche Sensoren eingesetzt, z.B. multi- oder hyperspektrale Kameras, Radar-Sensoren oder Laserscanner, die spezifische methodische Entwicklungen erfordern. Außerdem gelten CNN als „datenhungrig“, d.h. man benötigt große Trainingsdatensätze, um zu guten Ergebnissen zu kommen. Anders als in der Computer Vision sind letztere in Ph & FE in deutlich geringerem Umfang vorhanden, und zwar nicht nur wegen der größeren Variabilität der Sensorik, sondern auch, weil sich die Erscheinungsform von Objekten mit der geographischen Region, Jahres- und Tageszeit sowie anderen Faktoren deutlich unterscheiden kann. In der Folge sollen zwei Beispiele für CNN-Anwendungen aus Ph & FE skizziert werden.

## 2.2 Aktualisierung von GIS-Daten mit Hilfe von CNN

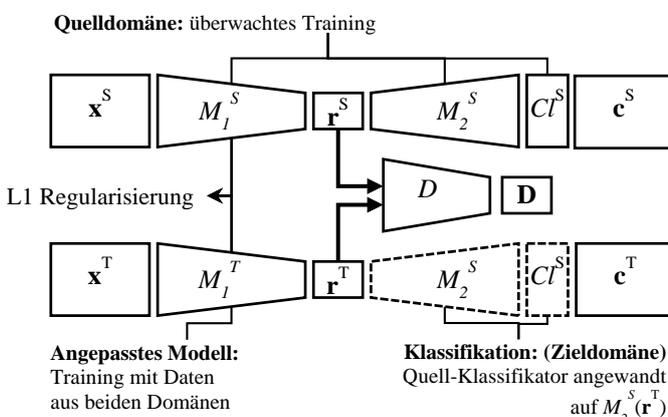
Diese Anwendung basiert auf einer Kollaboration des Instituts für Photogrammetrie und GeoInformation der Leibniz Universität Hannover mit den Landesvermessungsbehörden von Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern. Es geht um die Aktualisierung der Tatsächlichen Nutzung (TN) in ALKIS aus multispektralen Luftbildern und abgeleiteten Höhendaten (10-20 cm Bodenpixelgröße). ALKIS-TN enthält Objekte in Form von Polygonen mit bekannter Landnutzung. Letztere Information ist allerdings manchmal veraltet, weshalb aus den genannten Daten automatisch Änderungshinweise abgeleitet werden sollen. Dazu werden die Bilddaten zunächst dazu genutzt Information über die Bodenbedeckung (z.B. *Gras, Asphalt, Gebäude*) abzuleiten. Zu diesem Zweck wurde eine an U-Net angelehnte CNN-Struktur entwickelt, die Bild- und Höhendaten fusioniert (vgl. Abb. 1 links). Anschließend werden diese Ergebnisse gemeinsam mit den ursprünglichen Eingangsdaten dazu benutzt, um für jedes ALKIS-TN Polygon die Landnutzung (z.B. *Wohnbaufläche, Verkehrsweg, Ackerland*) zu präzidieren; das dafür genutzte CNN ist in Abb. 1 rechts zu sehen. In letzterem Fall besteht die Herausforderung darin, dass unterschiedlich große Objekte auf die vom CNN vorgegebene Größe der Eingangsdaten abgebildet werden müssen. Experimente zeigen, dass mit diesem Verfahren eine auf die Anzahl der korrekt klassifizierten Pixel bezogene Genauigkeit von 87%-89% für die Landbedeckung erzielt werden kann. Bei Unterscheidung von 10 Landnutzungsklassen werden 75%-80% der Objekte korrekt klassifiziert, wobei vor allem die Klassifikation von kleinen Objekten ( $< 50 \times 50 \text{ m}^2$ ) problematisch ist. Mehr Details findet man in (YANG et al. 2019).



**Abb. 1:** CNN Architekturen für die Automatisierte Klassifikation von Landbedeckung (links) und Landnutzung (rechts) aus (YANG et al. 2019). Das linke Netzwerk fusioniert zwei dreikanalige Eingangsbilder (RGB und ein künstliches Bild, welches u.a. den Infrarotkanal und Höhendaten enthält) und präzidiert für jedes Pixel ein Klassenlabel. Skip-Connections propagieren Information aus höher aufgelösten Schichten in die entsprechenden Schichten des Upsampling-Teils des CNN, was zu einer verbesserten Klassifikation an Objektgrenzen beitragen soll. Das rechte CNN nimmt die Bild- und Höhendaten sowie die klassenweisen Wahrscheinlichkeiten für die Landbedeckung und eine aus dem das GIS-Objekt beschreibenden Polygon abgeleitete Binärmaske als Input und liefert klassenweise Wahrscheinlichkeiten für die Landnutzungsklassen (durch Anwendung der softmax Funktion in der letzten Schicht). Die Zahlen bezeichnen die Anzahl der Filter in der jeweiligen Schicht des CNN.

## 2.2 Domänenadaption zur Klassifikation von hoch aufgelösten Luftbildern

Ein wesentliches Problem zur Anwendung von CNN für Zwecke der Ph & FE, wie z.B. der hier betrachteten pixelweisen Klassifikation der Landbedeckung aus hoch aufgelösten Luftbildern, ist die Verfügbarkeit einer ausreichenden Menge von Trainingsdaten. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, liegt in der Domänenadaption. Dabei wird Information in Form von vorhandenen Trainingsdaten, die zu einem früheren Zeitpunkt für einen Satz von Bildern (*Quelldomäne*) erhoben wurden, dafür genutzt, neue Daten (*Zieldomäne*) zu klassifizieren, ohne dass für letztere Trainingsdaten vorhanden sind, wobei die Daten in den beiden Domänen unterschiedlich verteilt sind. Würde man einen Klassifikator anhand der Daten aus der Quelldomäne anlernen und auf die Daten der Zieldomäne anwenden, müsste man auf Grund der unterschiedlichen Verteilung (*domain gap*) mit einer Verschlechterung der Klassifikationsgenauigkeit rechnen. Bei der Domänenadaption geht es darum, den an der Quelldomäne angelesenen Klassifikator an die Zieldomäne anzupassen, damit auch dort eine möglichst hohe Genauigkeit erzielt werden kann (TUIA et al. 2016). In (WITTICH & ROTTENSTEINER 2019) wird dazu ein CNN-basiertes Verfahren entwickelt. Dieses Verfahren lernt für die Daten der Zieldomäne ein Netzwerk, welches die entsprechenden Bilder in einen anhand von Daten der Quelldomäne definierten Merkmalsraum transformiert, auf den dann ein ebenfalls anhand der Quelldomäne gelernter Klassifikator angewandt werden kann (vgl. Abb. 2). Dabei wird die Fähigkeit eines weiteren CNN („*Diskriminator*“) zu erkennen, ob eine Merkmalsrepräsentation aus der Quell- oder der Zieldomäne stammt, als Maß für die Güte der Transformation genutzt. Experimente anhand von Daten aus drei Städten in Deutschland zeigen, dass damit ein positiver Transfer mit einer geringen Genauigkeitsverbesserung im Bereich von wenigen Prozent erreicht werden kann. Mehr Details findet man in (WITTICH & ROTTENSTEINER 2019).



**Abb.2.:** Prinzip der Domänenadaption aus (WITTICH & ROTTENSTEINER 2019). Anhand von Trainingsdaten der Quelldomäne (Bilder  $x^S$ , Labels  $c^S$ ) wird ein CNN bestehend aus zwei Komponenten  $M1^S$ ,  $M2^S$  und einem Klassifikator  $CI^S$  gelernt. Dabei liefert  $M1^S$  eine Repräsentation  $r^S$  der Daten. Bei der Domänenadaption wird für die Zieldomäne ein CNN  $M1^T$  gelernt, welches aus den Bildern  $x^T$  eine Repräsentation  $r^T$  ableitet, die wie  $r^S$  verteilt ist. Die Ähnlichkeit der Verteilungen wird durch die Fähigkeit des Diskriminators  $D$  gemessen. Anhand dieser Repräsentation ist zu entscheiden, ob sie aus der Quell- oder der Zieldomäne entstammt.

## Literatur

- KRIZHEVSKY, A., SUTSKEVER, I. & HINTON, G. E. (2012), ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In: Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS'12), 1, 1097-1105.
- LECUN, Y., BOSER, B., DENKER, J. S., HENDERSON, D., HOWARD, R. E., HUBBARD, W. & JACKEL, L. D. (1989), Handwritten digit recognition with a back-propagation network. In: 2<sup>nd</sup> International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'89), 396-404.
- LONG, J., SELHAMER, E. & DARRELL, T. (2015), Fully convolutional networks for semantic segmentation. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- RONNEBERGER, O., FISCHER, P. & BROX, T. (2015), U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: Proc. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), 234-241.
- TUIA, D., PERSELLO, C. & BRUZZONE, L. (2016), Domain adaptation for the classification of remote sensing data: an overview of recent advances. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine 4(2), 41-57.
- WITTICH, D. & ROTTENSTEINER, F. (2019), Adversarial domain adaptation for the classification of aerial images and height data using convolutional neural networks. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-2/W7, 197-204.
- YANG, C., ROTTENSTEINER, F. & HEIPKE, C. (2019), Towards better classification of land cover and land use based on convolutional neural networks. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W13, 139-146.

ZHU, X., TUIA, D., MOU, L., XIA, G.-S., ZHANG, L., XU, F. & FRAUNDORFER, F. (2017), Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine 5 (4), 8-36.

# Automatische Kartierung von Fahrbahnschäden aus Bilddaten eines Mobile Mapping Systems mithilfe von Deep Learning

Maximilian SESSELMANN<sup>1</sup>, Ronny STRICKER<sup>2</sup>, Thorsten NABER<sup>1</sup> und Steffen SCHELLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GINGER Lehmann+Partner GmbH · Fachbereich Forschung & Entwicklung · Sachsenallee 24 · 01723 Kesselsdorf  
E-Mail: sesselmann@lehmann-partner.de, naber@lehmann-partner.de, scheller@lehmann-partner.de

<sup>2</sup> Technische Universität Ilmenau · Fachgebiet Neuroinformatik und Kognitive Robotik · Helmholtzplatz 5 · 98684 Ilmenau  
E-Mail: ronny.stricker@tu-ilmenau.de

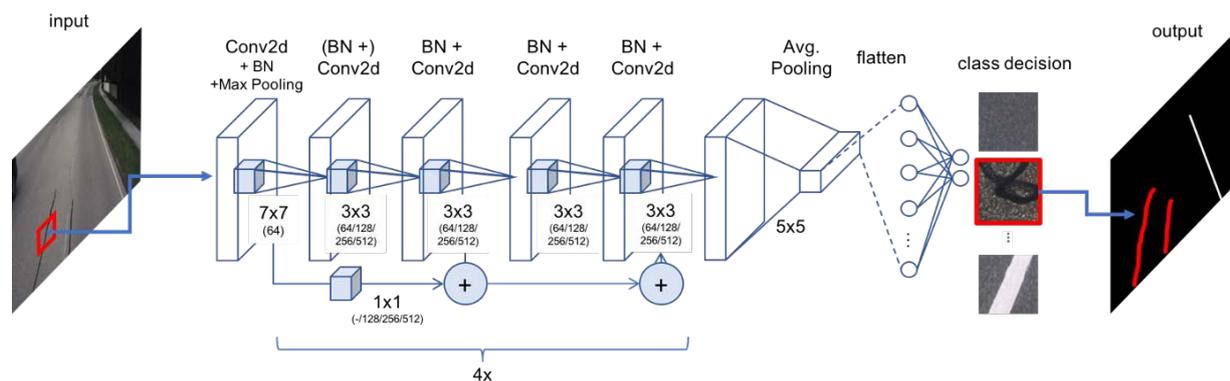
## 1 Einführung ins Thema

Im Kontext des Straßeninfrastrukturmonitorings werden mit schnellfahrenden Mobile Mapping Systemen Messdaten im Straßenraum aufgenommen. Die georeferenzierende Zustands- und Objekterfassung aus solchen Daten ist noch immer ein mehrheitlich manueller und damit ein zeit- und kostenintensiver Prozess. Dabei haben Deep Learning basierte Ansätze unter Einsatz künstlicher neuronaler Faltungsnetzwerke ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich automatisierter Bildanalyse bereits in verschiedensten Anwendungsdomänen bewiesen. Im Vortrag wird einerseits gezeigt, wie Fahrbahnschäden mithilfe tiefer neuronaler Faltungsnetze (engl.: Convolutional Neural Networks, kurz: CNN) aus Bildern automatisiert detektiert werden können und andererseits, wie die erkannten Schadstellen objektscharf und mit einer absoluten Genauigkeit besser 10 cm georeferenziert werden können. Hierzu werden die Daten aktiver und passiver Sensoren eines Mobile Mapping Systems fusioniert.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Methodik

Den methodischen Kern des Vortrags bildet ein tiefes neuronales Faltungsnetz für die Schadstellendetektion und -klassifikation aus Bilddaten, die mit einem Mobile Mapping System erfasst wurden. Im Gegensatz zu vollbildbasierten Segmentierungsverfahren liefert es für kleine, quadratische Bildausschnitte (engl.: Patches) eine Klassenentscheidung. Für die Anwendung des trainierten Netzes auf einem vollständigen Eingabebild werden schrittweise mehrere überlappende Patches klassifiziert. Die Klasse mit der maximalen Netzwerkausgabe wird entsprechend der Position des präsentierten Patches in eine Ergebnismaske eingetragen (vgl. Abb. 1). Die verwendete Netzwerkarchitektur basiert auf den von HE et al. (2016) vorgestellten Residual Networks (ResNets). Nachdem die Leistungsfähigkeit dieser Architektur im Kontext der Straßenzustandserfassung sowohl für hochauflösende Oberflächenfotos bei STRICKER et al. (2019) als auch für 2,5D Oberflächenmodelle bei SESSELMANN et al. (2019) demonstriert wurde, wird sie für Bilddaten adaptiert, die den Straßenraum aus der Perspektive der fahrenden Person abbilden.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung des verwendeten ResNets mit 18 Faltungsschichten. Jeder Bildausschnitt des Eingabebildes wird einer Klasse zugeordnet, sodass sich als Ausgabe eine Schadstellenmaske ergibt.

Für das Training und die Evaluation der Schadstellenklassifikation wurde ein umfangreicher Bilddatensatz mithilfe des schnellfahrenden Multisensorsystems I.R.I.S aufgenommen und so aufbereitet, dass das bildausschnittbasierte ResNet auf circa 260000 Bildausschnitte trainiert und getestet werden konnte. Um die im Bildkoordinatensystem lokalisierten Fahrbahnschäden in Form von Geobjekten zu kartieren, wurde ein 3D Bildverarbeitungsansatz zur Erzeugung von Tiefenbildern aus Kamera- und Laserscannerdaten realisiert. Diese Sensordatenfusion ermöglicht sowohl ein manuelles Messen von globalen 3D Koordinaten aus den monokularen Bildaufnahmen des I.R.I.S Systems als auch die automatische Georeferenzierung der im Bild erkannten Schadenskonturen.

## 2.2 Ergebnisse

Im Rahmen der Experimente wurde ein ResNet mit 18 Faltungsschichten trainiert. Insgesamt erreicht der beste trainierte Klassifikator eine Accuracy von 0.96 bzw. einen F1-Score von 0.80. Mit dem bildausschnittbasierten Netzwerk konnten nicht alle relevanten Arten von Fahrbahnschäden auf einem zufriedenstellenden Niveau detektiert werden: Während die Erkennung für linear ausgeprägte Schäden (z. B. Risse) auf einem guten Niveau funktioniert, kann für flächenhafte Schäden (z. B. Flickstellen) keine ausreichend sichere Detektionsleistung erreicht werden. Die weiterführenden Experimente zur Georeferenzierung und somit zur automatischen Kartierung von Fahrbahnschäden wurden am Beispiel von Rissen durchgeführt. Hierzu wurde eine ca. 200 m lange Teststrecke mit dem I.R.I.S System aufgenommen, die nicht im Trainings- und Evaluationsdatensatz enthalten war. Das trainierte ResNet wurde auf die Kamerabilder dieser Messfahrt angewendet. Anschließend wurden die automatisch detektierten Schadstellenkonturen mit dem Tiefenbild verschnitten, so dass für jeden im Bild erkannten Riss ein Geoobjekt im Form eines Polygons berechnet werden konnte (vgl. Abb. 2). Durch den flachen Aufnahmewinkel und das Bildaufnahmeintervall von 5 m wird ein Schaden i. d. R. in mehreren Bildern einer Sequenz abgebildet. Somit können für einen Schaden auch mehrere Geoobjekte entstehen. Für die statistische Auswertung der Referenzstrecke wurden die sich teilweise oder vollständig überlappenden, automatisch erzeugten Riss-Polygone geometrisch miteinander vereinigt und mit den manuell kartierten Riss-Linien abgeglichen. Die statistische Auswertung der automatischen Risskartierung auf Geoobjekt-Ebene kommt zu folgendem Ergebnis: 85% der Risse wurden korrekt kartiert, bei 6% der Risse handelt es sich um Fehler erster Art (Falsch-Positiv) und bei 9% um Fehler zweiter Art (Falsch-Negativ). Als richtig-positive Detektion wurden dabei nur Fälle gezählt, bei denen mindestens 25% der Risslänge von den automatisch kartierten Riss-Polygone abgedeckt wurde.



**Abb. 2:** Vergleich von manueller (oben) und automatischer Risskartierung (unten) für die circa 200 m lange Teststrecke.

Um zu evaluieren, welche absolute Lagegenauigkeit die automatische Schadstellenkartierung erreichen kann, wurden vor der Messung mit dem Mobile Mapping System I.R.I.S Passpunkte auf die Fahrbahnoberfläche aufgebracht und terrestrisch eingemessen (RTK). Die Ergebnisse zeigen, dass die Punktmessung aus den bei 70 bis 80 km/h aufgenommenen Kamera- und Tiefenbilddaten nur 6 cm bis 8 cm von den Passpunktkoordinaten abweichen.

## Literatur

- HE, K., ZHANG, X., REN, S. & SUN, J. (2016), Identity mappings in deep residual networks. European conference on computer vision. Springer, 630-645.
- SESSELMANN, M., STRICKER, R. & EISENBACH, M. (2019), Einsatz von Deep Learning zur automatischen Detektion und Klassifikation von Fahrbahnschäden aus mobilen LiDAR-Daten. AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 5-2019, 100-114.
- STRICKER, R., EISENBACH, M., SESSELMANN, M., DEBES, K. & GROSS, H.-M. (2019), Improving Visual Road Condition Assessment by Extensive Experiments on the Extended GAPs Dataset. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN), Budapest, Hungary, paper N-20496.

# Deep Learning für Anwendungen in den Agrar- und Umweltwissenschaften

Ribana ROSCHER<sup>12</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geodäsie und Geoinformation · Universität Bonn · Nußallee 15 · 53115 Bonn

<sup>2</sup>Institut für Informatik · Universität Osnabrück · Wachsbleiche 27 · 49090 Osnabrück

E-Mail: ribana.roscher@uni-bonn.de

## 1 Einführung ins Thema

Deep learning und Neuronale Netze haben in verschiedenen Bereichen der Photogrammetrie und Fernerkundung zu erheblichen Fortschritten geführt. In Kombination mit verbesserten Sensoren mit wachsender räumlicher, spektraler und temporaler Auflösung bieten diese Methoden ein hohes Potenzial um Aufgaben anzugehen, deren Lösung bisher eine große Herausforderung war. Bereits jetzt konnte gezeigt werden, dass deep neural networks für viele Anwendungen eine höhere Genauigkeit im Vergleich zu klassischen maschinellen Lernverfahren erreichen kann, aber auch zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen führen kann, die dem Anwender in der Entscheidungsfindung unterstützen.

Im vorliegenden Beitrag werden diverse Anwendungen aus den Agrar- und Umweltwissenschaften vorgestellt, die verschiedene Aspekte des maschinellen Lernens darstellen, die für den Nutzer relevant und erstrebenswert sind. Zum einen werden Arbeiten vorgestellt, die auf eine hohe Effizienz und Genauigkeit zielen, aber auch Arbeiten, die sich auch auf die Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit des Verfahrens und der erreichten Ergebnisse fokussieren.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Effizienz am Beispiel des Zählens von Weinbeeren

Im Gegensatz zu anderen Nutzpflanzen, fokussiert sich der Weinbau nicht auf die Ertragssteigerung sondern auf das Erreichen eines bestimmten Ertrags. Da die Qualität des Weines mit zunehmendem Ertrag fällt, ist eine Vorhersage des zu erwartenden Ertrags notwendig, um rechtzeitig mit einer Ausdünnung zu reagieren. Maschinelle Lernverfahren können hier eine Ernteschätzung erreichen, indem zum Beispiel Weinbeeren gezählt und deren Größe abgeleitet werden. ZABAWA et al. (2020) stellt ein Verfahren zur semantischen Instanzsegmentierung vor, welches mit convolutional neural networks Beeren zählt und effizienter ist als bekannte Verfahren aus dem Computer Vision Bereich. Ein Beispiel der detektierten Beeren im Bild ist in Abb. 1 dargestellt. Die Idee bei diesem Ansatz ist, die aufwendige Instanzsegmentierung, die meist durch die Schritte semantische Segmentierung und Objektdetektion umgesetzt wird, in eine einzige semantische Segmentierung umzuformulieren.



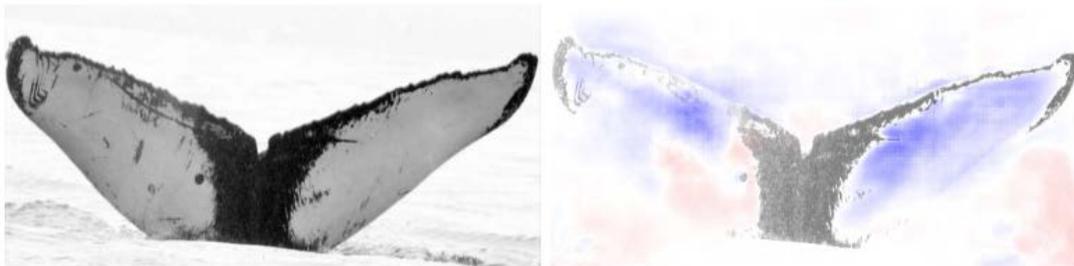
**Abb. 1:** Detektierte Beeren und deren Kontur zur Unterscheidung von aneinandergrenzenden Beeren dargestellt in grün.

## 2.2 Erklärbarkeit am Beispiel der Identifikation von Buckelwalen

Die Walpopulation ist weltweit durch den jahrelangen kommerziellen Walfang bedroht. Darüber hinaus beeinträchtigen die Anpassung an die Erwärmung der Ozeane und der Kampf um Nahrung im Wettbewerb mit der Fischereiindustrie die Stabilität der Walpopulation. Aus diesem Grund kontrollieren viele Wissenschaftler die Walpopulationen und überwachen die raum-zeitliche Wanderung, um die Wale zu schützen. Eine unverzichtbare Grundlage für die Überwachung von Walen ist die Identifizierung, wobei sie anhand der Form der Walflossen und ihrer einzigartigen Pigmentierung identifiziert werden können. Neuronale Netze haben gezeigt, dass sie für diese Aufgabe geeignet sind und eine hohe Anzahl von Walen anhand von Fotos ihrer Flossen zueinander zugeordnet werden können. Darüber hinaus stellt KIERDORF et al. (2020) ein Verfahren vor, welches anhand von Heatmaps visualisiert aufgrund welcher Charakteristiken ein Bild einem bestimmten Wal zugeordnet wurde. Daraus lassen sich zum Beispiel Aussagen über die Stabilität der Zuordnung ableiten und Walforscher können Anhaltspunkte über die Güte der Bilder erhalten. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen zwei Beispiele von Heatmaps die aus einer Identifikation mit einem neuronalen Netz entstanden sind. In der Arbeit konnte gezeigt werden, dass eine Clusteranalyse Gruppen von Heatmaps identifizieren kann, die besonders gut für eine Identifikation geeignet sind. Die Gruppenzugehörigkeit kann somit als Verlässlichkeitsmaß verstanden werden und deckt sogenannte Clever Hans-Effekte auf (LAPUSCHKIN et al. 2019).



**Abb. 2:** Grad-cam Heatmap als Indikator welche Bildausschnitte besonders für die Zuordnung eines bestimmten Wals verantwortlich sind (SELVARAJU et al. 2017).



**Abb. 3:** Occlusion Sensitivity Map als Indikator bei welchen Bildausschnitten das Neuronale Netz besonders sensitiv reagiert, falls dieser abgedeckt wird (ZEILER & FERGUS 2014).

## Literatur

- KIERDORF, J., GARCKE, J., BEHLEY, J., CHEESEMAN, T., & ROSCHER, R. (2020), What Identifies a Whale by its Fluke? On the Benefit of Interpretable Machine Learning for Whale Identification, submitted.
- LAPUSCHKIN, S., WÄLDCHEN, S., BINDER, A., MONTAVON, G., SAMEK, W., & MÜLLER, K. R. (2019), Unmasking clever hans predictors and assessing what machines really learn. *Nature Communications*, 10(1), 1-8.
- SELVARAJU, R. R., COGSWELL, M., DAS, A., VEDANTAM, R., PARIKH, D. & BATRA, D. (2017), Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 618–626.
- ZABAWA, L., KICHERER, A., KLINGBEIL, L., MILIOTO, A., TOPFER, R., KUHLMANN, H., & ROSCHER, R. (2019). Detection of Single Grapevine Berries in Images Using Fully Convolutional Neural Networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*.
- ZEILER, M. D. & FERGUS, R. (2014), Visualizing and understanding convolutional networks. *European conference on computer vision*, Springer, 818–833.

# Das Märchen vom globalen Ranking der Stadtgrößen – Wie administrative Raumeinheiten die Realität verzerren

Hannes TAUBENBÖCK<sup>1/2</sup>

<sup>1</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) · Münchner Str. 20 · 82234 Wessling

E-Mail: hannes.taubenboeck@dlr.de

<sup>2</sup>Julius-Maximilians-Universität Würzburg · Institut für Geographie und Geologie · 97074 Würzburg

## 1 Einführung ins Thema

Was ist die größte Stadt der Welt? Ein Blick in die Statistiken der Vereinten Nationen scheint diese Frage eindeutig zu beantworten: Tokio ist mit seinen 37 Millionen Einwohnern die größte Stadt der Welt (VEREINTE NATIONEN 2018). Aber spiegelt diese Statistik, die in fast jeder wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Publikation zu Urbanisierung zitiert wird, tatsächlich auch die Realität wider?

Globale Stadtrankings basieren auf national erhobenen Bevölkerungszahlen, die auf administrativen Verwaltungseinheiten beruhen. Diese Verwaltungseinheiten allerdings sind u.a. durch historische oder politische Prozesse entstanden und daher als Raumeinheiten willkürlich und inkonsistent. Viele vergleichende stadtgeographische Studien stehen aufgrund dieser willkürlichen Verwendung von geographischen Grenzen in der Kritik (systematische Dokumentation der Inkonsistenzen z.B. bei TAUBENBÖCK et al., 2016). Darüber hinaus leben wir in einer Welt, die durch die globale Urbanisierung hochdynamische Transformationsprozesse durchläuft (z.B. ANGEL et al. 2011). Durch Stadtwachstum, ‚urban sprawl‘ das Zusammenwachsen von ehemals separaten Städten, stellen daher diese konventionellen, administrativen Raumeinheiten inzwischen oftmals wenig realistische Einheiten dar. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob und in welchem Umfang sich die heutigen Stadtgrößen, wenn man sie nach morphologischen Parametern (d.h. also nach einem dichten, zusammenhängenden Siedlungsgebiet) definiert, von herkömmlichen administrativen Raumeinheiten unterscheiden.

## 2 Ein neues globales Ranking der Stadtgrößen

### 2.1 Daten und Methoden

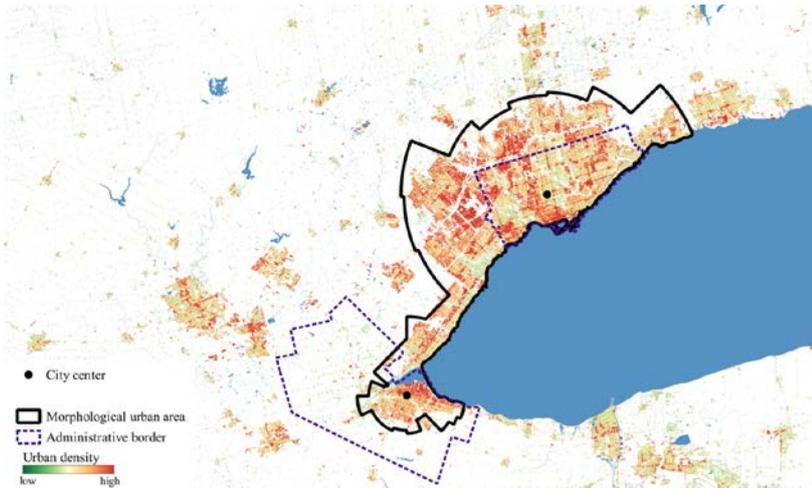
Die Analyse basiert auf der Kombination unterschiedlicher Datensätze: Daten aus der Fernerkundung (Global Urban Footprint (GUF) und GUF-Density; ESCH et al. 2012); Verwaltungsgebiete (GADM, 2018); Bevölkerungsstatistiken der Vereinten Nationen (UN, 2018); und globale Bevölkerungsdaten von WorldPop (TATEM 2017).

Wir zielen darauf ab, den Siedlungsraum konsistent und damit für stadtgeographische Vergleich zulässig abzugrenzen. Die fernerkundlichen Daten dienen als Grundlage, um die Siedlungsräume in ihrer Ausdehnung und Siedlungsdichte zu beschreiben. Wir gehen also davon aus, dass der Übergang von urbanen zu ländlichen Siedlungsstrukturen irgendwo entlang eines abnehmenden Gradienten in physischer Bebauungsdichte mit zunehmender Entfernung zum Stadtzentrum zu finden ist. Da es keinen objektiv richtigen Schwellwert geben kann, ist das Entscheidende in diesem Ansatz vielmehr, dass dieser Schwellwert für unser Sample – die größten 1692 Städte der Welt – konsistent abgeleitet wird. Methodische Details finden sich in TAUBENBÖCK et al. (2019). Mit den WorldPop Bevölkerungsdaten (TATEM 2017) rechnen wir die Bevölkerungszahlen dieser konsistenten Raumeinheiten hoch und zeigen mit einer Rang-Größenverteilung die Unterschiede zwischen den Statistiken der Vereinten Nationen gegenüber unserer Methode auf.

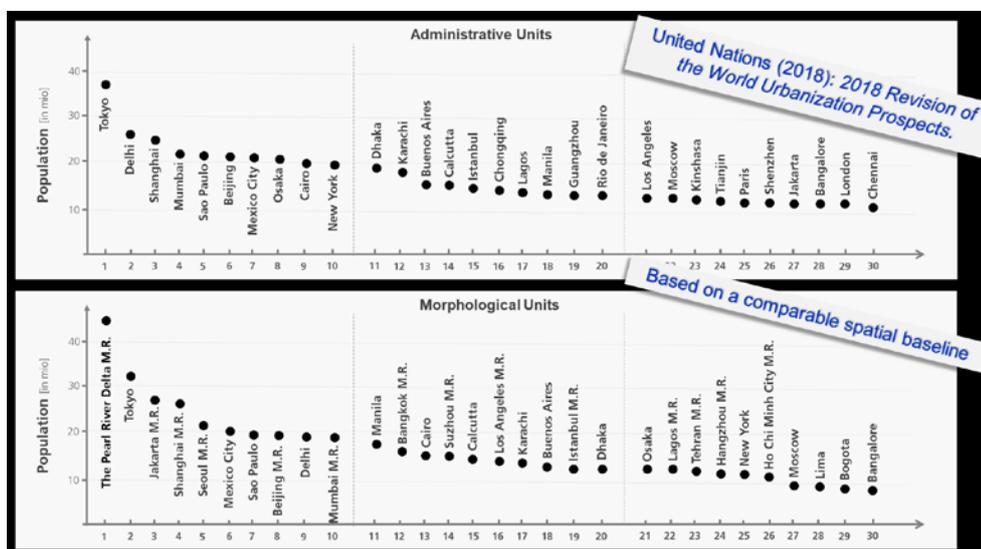
### 2.2 Ergebnisse

In Abbildung 1 werden die erzielten Differenzen in den Raumeinheiten dargestellt. Die administrativen Raumeinheiten, die die Grundlage der Statistiken der Vereinten Nationen sind (gestrichelte lila Linie), werden den morphologisch und global konsistent erzeugten Daten gegenübergestellt. In diesem Beispiel für die Städte Toronto und Hamilton in Kanada werden zwei Fälle sichtbar: In Toronto ist die administrative Raumeinheit wesentlich kleiner als die Ausdehnung der Siedlungslandschaft. In Hamilton sieht man den umgekehrten Fall. In diesen konkreten Beispielen kommt noch hinzu, dass die Siedlungslandschaften beider Städte in der Art zusammengewachsen sind, dass sie morphologisch eine Stadt bilden. Für unsere Analyse zählen wir diesen Metropolraum nun als eine Stadt, während die Vereinten Nationen beide Städte separat aufführen.

Wendet man diese Methode global auf alle Städte an, so gibt es eine bemerkenswerte Veränderung der Rangliste der größten Städte der Welt. Die größte Stadt ist dann nicht mehr Tokio, sondern das Agglomerat der Städte im Perlfussdelta in China. Dort leben über 43 Millionen Menschen (zählt man die informelle Bevölkerung hinzu könnten es weit über 60 Millionen sein). Abbildung 2 zeigt exemplarisch die veränderte Rangfolge im Vergleich.



**Abb. 1:** Darstellung des GUF zur Beschreibung der Siedlungslandschaft sowie die Ausdehnung der administrativen Verwaltungseinheiten von Toronto (nördlich des Sees) und Hamilton (westlich) im Vergleich mit den errechneten morphologischen Grenzen.



**Abb. 2:** Die Rangliste von Stadtgrößen nach den Statistiken der VEREINTEN NATIONEN (2018) (oben) im Vergleich zu der Bevölkerungsschätzung basierend auf vergleichbaren morphologischen Raumeinheiten (unten).

Wir können also konstatieren, dass die allgemein akzeptierten Stadtgrößen mit der Ausdehnung heutiger Siedlungslandschaften und den entsprechenden Bevölkerungszahlen bedeutende Unterschiede aufweisen. Insofern kann in Bezug auf den provokanten Titel geschlussfolgert werden: Ja, administrative Raumeinheiten verzerren die Realität.

## Literatur

- ANGEL, S., PARENT, J., CIVCO, D.L., BLEI, A.M. & POTERE, D. (2011), The dimensions of global urban expansion: estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Prog. Plan.* 75 (2), 53–108.
- ESCH, T., TAUBENBÖCK, H., ROTH, A., HELDENS, W., FELBIER, A., THIEL, M., ... & DECH, S. (2012), TanDEM-X mission — new perspectives for the inventory and monitoring of global settlement patterns. *J. Appl. Remote. Sens.* 6, 1–21.
- GADM (2018), Database of Global Administrative Areas. GADM, Montreal, QC, Canada.
- TATEM, A.J. (2017), WorldPop, open data for spatial demography. *Scientific Data* 4.
- TAUBENBÖCK, H., STANDFUß, I., KLOTZ, M. & WURM, M. (2016), The physical density of the city – deconstruction of the delusive density measure. *ISPRS Internatl. Journal of Geo-Information* 5 (11), 1–24.
- TAUBENBÖCK, H., WEIGAND, M., ESCH, T., ... & DECH, S. (2019), A new ranking of the world's largest cities - Do administrative units obscure morphological realities? *Remote Sensing of Environment*. vol. 232.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION (2018), 2018 Revision of the World Urbanization Prospects.

# Räumliche Indikatoren zur Nachverdichtung

Thomas PRINZ, Wolfgang SPITZER und Sabine GADOCHA

Research Studio iSPACE der Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH · Schillerstraße 25 · A-5020 Salzburg

## 1 Hintergrund

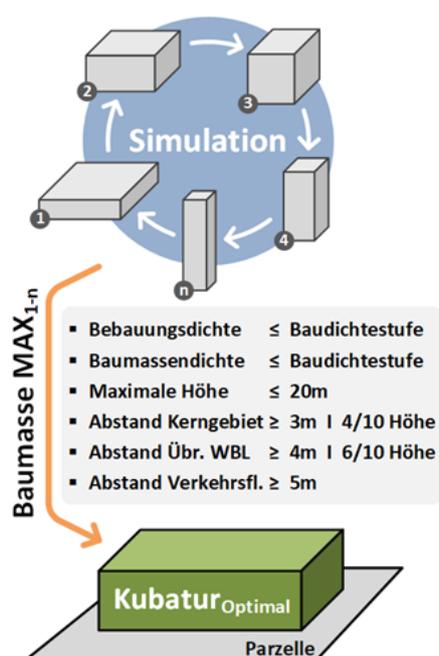
Eine effiziente Nutzung der, vor allem in urbanen Regionen, knappen Ressource Boden bei gleichzeitiger Deckung des Wohnraumbedarfs erfordert neue Lösungsansätze. Innenentwicklung und energieeffiziente Nachverdichtung stellen einen Ansatz für eine zukunftsfähige Entwicklung von Stadtregionen dar. Nachverdichtung – also das Weiterbauen im Widmungsbestand – kann durch Abbruch und größeren Neubau, durch An- und Zubauten oder durch eigenständige Neubauten ergänzend zum Gebäudebestand erfolgen. Der vorliegende Beitrag zeigt anhand dreier Beispielsprojekte verschiedene GIS-Analyseansätze zur Messbarmachung und Bewertung unterschiedlicher Aspekte von Nachverdichtungspotenzialen mit Räumlichen Indikatoren.

## 2 Modellierung der optimalen Ausnutzung von Grundstücken

Ziel des laufenden Projektes WohnMOBIL ist die Entwicklung systematisierter Lösungsansätze für eine integrative Planung von Wohnen und Mobilität, unter besonderer Berücksichtigung innovativer Wohnformen wie transitorisches Wohnen und darauf abgestimmte bedarfsgerechte Mobilitätsangebote.

Eine wesentliche Grundlage dafür ist die Identifikation von Flächenpotenzialen auf Parzellenebene. Für das Testgebiet „Marktgemeinde St. Johann in Tirol“ wurde eine GIS-Methodik angepasst an das länderspezifische Baurecht und die Datenverfügbarkeit entwickelt (vgl. Abb. 1). Aus der Baulichen Entwicklung des Örtlichen Raumordnungskonzepts wird jeder Parzelle im Wohnbauland die Baudichtestufe zugewiesen. Zusammen mit den Abstandsvorgaben der Tiroler Bauordnung wird die optimale (maximale) Ausnutzung in m<sup>3</sup> Baumasse aus einer Simulation möglicher Kubaturen (1-n) ausgewählt. Die Kubatur mit der optimalen Ausnutzung darf dabei keinen der Grenzwerte der jeweiligen Baudichtestufe überschreiten. Als Flächenpotenzial eines Grundstücks gilt die Differenz zwischen Baumasse bei optimaler Ausnutzung der baulichen Dichte (abzüglich Abschlag) und der Baumasse des Gebäudebestands.

Darauf aufbauend ermöglicht der WohnMOBIL-Bausatz mit den Bausteinen “Innovative Wohnlösungen” und “Innovative Mobilitätslösungen” die Ableitung von bedarfsgerechten, wohnformangepassten Mobilitätsangeboten. Durch die integrative Betrachtung von Wohnen und Mobilität lässt sich die Umsetzung der erforderlichen Mobilitätsinfrastruktur-Angebote bereits frühzeitig im Planungsprozess von Gebäuden und Siedlungen integrieren.



**Abb. 1:** Auswahl der optimalen Kubatur für eine Parzelle unter Einhaltung der Grenzwerte zur baulichen Ausnutzbarkeit.

### 3 Typologie und Priorisierung von Nachverdichtungspotenzialen

Ziel des Projektes BONSEI! (Bestand Optimal Nutzen – Sanierung Energieeffizient Implementieren!) ist die Erarbeitung eines Konzepts für ein ganzheitliches Beratungsangebot zur Weiterentwicklung von Bestandsgebäuden sowie die Erstellung von Planungsgrundlagen und Kriterien einer energieeffizienten Nachverdichtung für dieses Beratungsangebot. Die Resultate können einerseits als Planungsgrundlage für Entscheidungsträger dienen und andererseits als Information für ein Beratungsangebot von privaten Gebäudeeigentümern. Im Projekt wurde ein mehrstufiges Beratungsangebot zur Weiterentwicklung von Bestandsgebäuden im Sinne von Nachverdichtung und energieeffizienter Sanierung konzipiert und getestet.

Dabei wurde u.a. eine GIS-Methodik entwickelt, die eine parzellenscharfe Abschätzung und Typisierung von Nachverdichtungspotenzialen ermöglicht. Die Typologie soll Auskunft über mögliche Arten von Nachverdichtungsmaßnahmen geben. Über einen Vergleich des Gebäudebestands mit den Kennzahlen der baulichen Dichte sowie einer Bewertung mit räumlichen Indikatoren werden fünf Typen der Ausnutzung des Nachverdichtungspotenzials identifiziert (vgl. Abb. 2).

	Typ 1 Neubau möglich (unbebaut)	Typ 2 Selbständiger Zubau möglich (teilbebaut)	Typ 3 Aufstockung und Anbau möglich	Typ 4 nur Anbau möglich (keine Aufstockung)	Typ 5 nur Aufstockung möglich (kein Anbau)
<b>Bebauungsgrad</b>	unbebaut	bebaut	bebaut	bebaut	bebaut
<b>Baufenster</b> <sub>selbständig100m<sup>2</sup></sub>	ja	ja	nein	nein	nein
<b>Potenzial</b> <sub>horizontal</sub>	ja	ja	ja	ja	nein
<b>Potenzial</b> <sub>vertikal</sub>	ja	ja	ja	nein	ja

Abb. 2: Schema zur Typisierung von Nachverdichtungspotenzialen.

Zur Priorisierung potenzieller Nachverdichtungsflächen für stadtplanerische Strategien wird beispielweise ein Sanierungsstau über den Heizwärmebedarf der Gebäude oder die Entfernung zu bestehenden Energienetzen herangezogen. Grundstücke lassen sich zudem hinsichtlich ihrer Lage, Ausstattung und Anbindung (Standortqualität) bewerten. Abbildung 3 zeigt die erarbeitete Priorisierung von Nachverdichtungsflächen. Sie dient als Planungsgrundlage zur strategischen Planung von Schwerpunktquartieren für gezielte Informationsaktivitäten für Nachverdichtung und Sanierung. Mit dieser gewichteten Priorisierungsmatrix kann ermittelt werden, bei welchen Parzellen Nachverdichtungsmaßnahmen, aufgrund der Rahmenbedingungen, vorrangig gesetzt werden sollten.

Kriterien		Punkte	Gewichtung	
Nachverdichtung	Nachverdichtungspotenzial (NV-Potenzial <sub>Optimal</sub> )	< 90m <sup>2</sup>	0	1
		≥ 90m <sup>2</sup>	1	
	Bruttogeschoßfläche der Bestandsgebäude (BGF <sub>Bestand</sub> )	< 90m <sup>2</sup>	0	
		90m <sup>2</sup> - 600m <sup>2</sup>	1	
		≥ 600m <sup>2</sup>	0	
	Nachverdichtungstyp	Typ 1	0	
Typ 2-5		1		
Energie	Heizwärmebedarf (HWB <sub>ZEUS</sub> )	n/a	1	1
		< 80kWh/m <sup>2</sup>	0	
		≥ 80kWh/m <sup>2</sup>	1	
	Fernwärmeanschluß	Parzelle	2	
		Straße (< 25m)	1	
		≥ 25m	0	
Gasleitungsanschluß	Parzelle	2		
	Straße (< 25m)	1		
	≥ 25m	0		
Standortqualität	Öffentlicher Verkehr (ÖV-Güteklasse)	A - B	2	1
		C - D	1	
		E - G	0	
	Lebensmitteleinzelhandel	< 500	2	
		500 – 1.000m	1	
		≥ 1.000m	0	
Schule, Kinderbetreuungseinrichtung, Arztpraxis o. Apotheke	< 500	2		
	500 – 1.000m	1		
	≥ 1.000m	0		
Denkmalschutz / Erhaltungsgebot	vorhanden	0	1	
	nicht vorhanden	1		
<b>Wertebereich</b>		<b>0 bis 15</b>		

Abb. 3: Bewertungstabelle zur Priorisierung von Nachverdichtungspotenzialen.

### 4 Monitoring der Nachverdichtung

Die Stadt Salzburg verfolgt mit dem Räumlichen Entwicklungskonzept 2007 konsequent eine „Siedlungsentwicklung nach Innen“ und formuliert dazu explizite Zielsetzungen. Um den Erfolg der dafür gesetzten Maßnahmen in der Stadt Salzburg messbar zu machen, wurde ein GIS-Analysemodell „Nachverdichtungsmonitor“ entwickelt. Grundlage für dieses Monitoring sind u.a. detaillierte Gebäudekartierungen der Jahre 2005, 2014 und 2019, Oberflächen- und Geländemodelle und laufend fortgeschriebene digitale Bebauungspläne, die es ermöglichen, nicht nur das Nachverdichtungspotenzial, sondern v.a. auch seine Konsumation in einem Zeitraum grundstücksscharf zu quantifizieren. Abbildung 4 illustriert den Analyseablauf am Beispiel der Konsumation von GFZ-Reserven 2005-2014. Das GIS-Analysemodell muss dabei die Komplexität, mit der die städtebauliche Entwicklung und damit auch die Nachverdichtung ablaufen, abbilden können. Abbildung 5 zeigt dazu ein Beispiel *Abbruch und Ersatzneubau* im Zeitraum 2005-2014. Die Ergebnisse dienen der Evaluierung städteplanerischer Strategien und konkreter Entwicklungsziele.

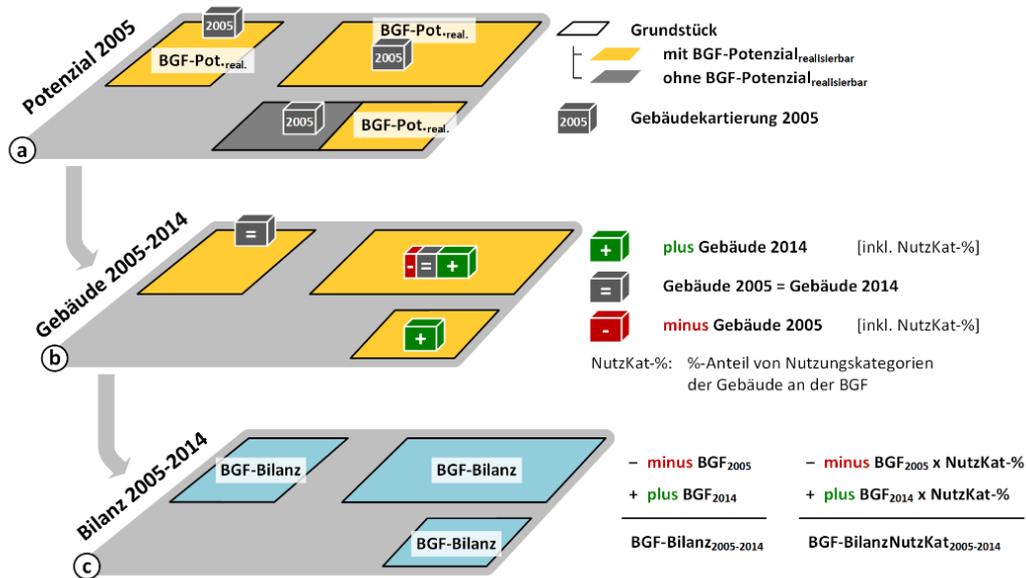


Abb. 4: Analyseablauf „Konsumation von GFZ-Reserven“



Abb. 5: Beispiel Abbruch und Ersatzneubau

### 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Deckung des Wohnraumbedarfs bei starkem Siedlungsdruck und begrenzter Flächenverfügbarkeit wird eine der wesentlichen zukünftigen Herausforderungen in urbanen Regionen sein. Eine Innenentwicklung der Siedlungsflächen im Sinne von Nachverdichtung bietet die Möglichkeit, vorhandene Flächen besser zu nutzen und gleichzeitig bestehende Infrastruktur besser auszulasten. Die Problem- und Fragestellungen, wie auch die Rahmenbedingungen, zur Weiterentwicklung von Quartieren, Siedlungen und Gebäuden sind sehr individuell. Gerade deshalb sind belastbare Daten- und Planungsgrundlagen eine wichtige Voraussetzung für die effiziente und zielgerichtete Siedlungsentwicklung.

Im Forschungs- und Transferzentrum „Alpines Bauen“ steht im Forschungsschwerpunkt *Simulation von Siedlungssystemen* die Entwicklung von Modellen zur automatisierten Ermittlung von Möglichkeiten zur Schaffung von Wohnraum

durch Nachverdichtung und einer intelligenten Raumentwicklung im Sinne der Umsetzung von integrierten Siedlungssystemen im Vordergrund. Durch die Verschränkung mit den Forschungsschwerpunkten *Intelligente Gebäudehüllen* und *Intelligente Energiesysteme* werden die Aspekte Ressourcen- und Energieeffizienz in die Raumsimulation integriert. Durch die Weiterentwicklung der GIS-gestützten Siedlungs- und Nachverdichtungsmodelle, die Erweiterung von Gebäude-/Nachverdichtungstypologien sowie die Erarbeitung innovativer Visualisierungsmöglichkeiten soll eine umfassende Planungsgrundlage entstehen.

## Literatur

- ERBER, S., SCHNEIDER, C., PRINZ, T., GADOCHA, S., SPITZER, W. & SCHWEIZER, P. (2019), BONSEI! Bestand optimal nutzen –Sanierung energieeffizient implementieren. Konferenz: BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Wien.
- GADOCHA, S., PRINZ, T. & W. SPITZER (2019), Räumliche Daten für die Mobilisierung von Nachverdichtungspotenzialen. In: Strobl J., Zigel B., Griesebner G. & Blaschke T. (Hrsg.): AGIT - Journal für Angewandte Geoinformatik. - Berlin, 276-283.
- MAGISTRAT STADT SALZBURG, AMT FÜR STADTPLANUNG UND VERKEHR (Hrsg. 2008), Räumliches Entwicklungskonzept der Stadt Salzburg. REK 2007. - Salzburg.
- PRINZ T., GADOCHA S. & SPITZER W. (2018), Bestand optimal nutzen - GIS-gestützte Modellierung von Entscheidungsgrundlagen zur energieeffizienten Nachverdichtung. In: Strobl J., Zigel B., Griesebner G. & Blaschke T. (Hrsg.): AGIT - Journal für Angewandte Geoinformatik. - Berlin, 326-331.
- SPITZER, W., KERSCHBAUMER, M., PREISSLER, H. & PRINZ, T. (2015), Grenzübergreifendes Flächenmanagement. Voraussetzung für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung im Raum Salzburg. - Salzburg. - Online: <http://giplus.de/downloadpubikationen>.
- SPITZER, W., REITHOFER, J. & PRINZ, T. (2017), Monitoring der Nachverdichtung in der Stadt Salzburg. In: Strobl, J., Zigel, B., Griesebner, G. & Blaschke, T. (Hrsg.): AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 2-2017. - Heidelberg, 383-389.

# Smart Mapping

Markus SEIFERT

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung · Alexandrastr. 4 · 80538 München  
E-Mail: Markus.Seifert@ldbv.bayern.de

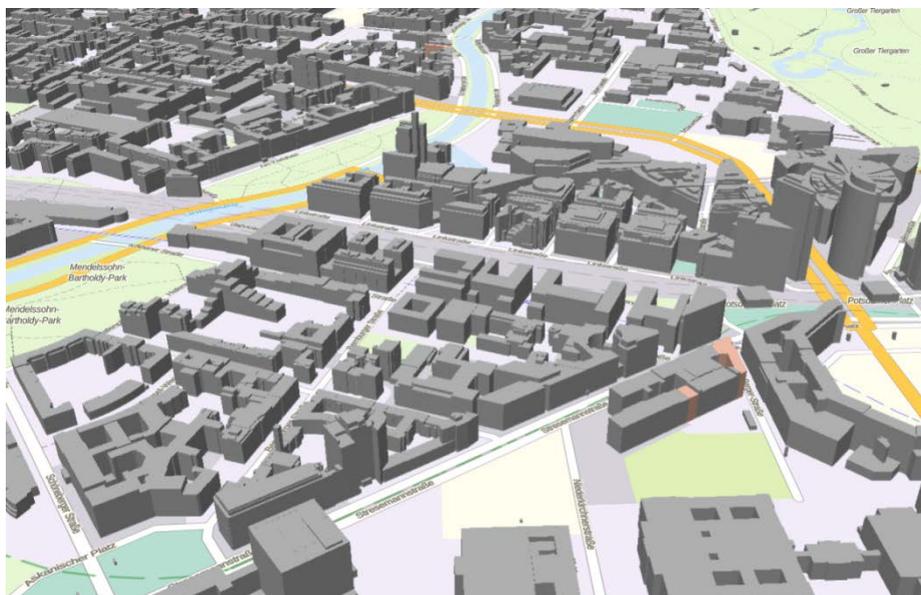
## 1 Einführung ins Thema

Zu Beginn des Jahres 2018 startete die AdV (Amtliches Deutsches Vermessungswesen) ein gemeinsames Projekt von Bund und Ländern, um die amtliche Kartographie zukunftsfähig zu machen und innovative Produkte zu entwickeln. Die Innovation von Smart Mapping liegt in der Neugestaltung einer modular aufgebauten Entwicklungsplattform für eine schnelle, agile und wirtschaftliche Erzeugung kartographischer Produkte der Vermessungsverwaltungen. Damit soll schrittweise die zentrale Weiterentwicklung der bekannten AdV-Standardprodukte angegangen werden sowie neue oder weiterentwickelte kartographische Produkte erprobt und bereitgestellt werden. In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse des Projekts "Smart Mapping" vorgestellt. Auf Basis der zentralen Entwicklungsplattform wurde ein Prototyp für eine (mobile) Vektorkarte mit 3D-Gebäuden und Höhenlinien erstellt. Im Rahmen dieser Präsentation wird auch auf die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen, die eingesetzte Technologie sowie weitere Innovationspotentiale von Smart Mapping eingegangen.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Ziele von Smart Mapping

Die Funktionalität des neuen Verfahrens sowie der Entwicklungsplattform wird zunächst im Rahmen eines Proof of Concept erprobt, bevor damit künftig neue oder weiterentwickelte kartographische AdV-Standardprodukte erzeugt werden. Im ersten Realisierungsschritt wurde daher die Herstellung einer neuen, vektorbasierten Webkarte prototypisch umgesetzt (vgl. Abb. 1). Der Arbeitstitel für dieses neue AdV-Produkt ist basiskarte.de.



**Abb. 1:** Prototypische Vektorkarte in Schrägansicht (Ausschnitt Berlin).

Smart Mapping ist somit kein weiteres AdV-Produkt, sondern ein gemeinsames Verfahren von Bund und Ländern, welches funktionell von einer von Bund und Ländern getragenen Entwicklungsgemeinschaft betreut wird und konzeptionell fortgeschrieben wird. Die technische Realisierung und die Bereitstellung werden dabei aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus zentral an einer Stelle koordiniert.

Das Kennzeichen von AdV-Standardprodukten, die aus Smart Mapping hervorgehen, ist ein einheitliches Erscheinungsbild, einheitliche Nutzungsbedingungen, eine vollständige Abdeckung der Bundesrepublik und eine hohe Aktualität. Das Verfahren kann durch seinen modularen Aufbau flexibel neue Datenquellen und neue Werkzeuge erschließen und sich

so agil weiterentwickeln. Auch die Ableitung einer konfigurierbaren Druckausgabe, die möglicherweise mittelfristig die Digitalen Topographischen Karten (DTK) ablösen könnte, wird im Smart Mapping-Verfahren derzeit geprüft.

## 2.2 Neue agile Entwicklungsmethoden

Die Erstellung der im Jahre 2018 entwickelten Konzepte hat gezeigt, dass bei der Implementierung einer derart aufwendigen Smart Mapping-Plattform neue, bisher für die AdV unkonventionelle Wege erforderlich sind. Aufgrund der hohen technischen Komplexität und der dadurch schwer abzuschätzenden Auswirkungen der möglichen Maßnahmen, wurde bei der Erarbeitung von konkreten Umsetzungsempfehlungen eine **agile Entwicklung** eingeführt. Das Ziel agiler Entwicklung ist es, den Implementierungsprozess flexibler, schneller und schlanker zu machen, als dies bei den klassischen Vorgehensmodellen der Fall ist. Die Entscheidungswege sind dabei kurz und die schrittweise umzusetzenden Arbeitspakete überschaubar.

Die Umsetzung erfolgt durch die Arbeitsgruppe Smart Mapping mit Beteiligten aus allen Vermessungsverwaltungen der Länder, des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) sowie dem Zentrum für Geoinformation der Bundeswehr (ZGeoBw) und künftig weiteren Experten aus Wissenschaft und Forschung. Die Arbeitsgruppe besteht derzeit aus über 20 agilen Geodaten-Experten, die für die Entwicklungsarbeiten von ihren entsendenden Behörden freigestellt wurden (oder zumindest für einen Teil ihrer Arbeitszeit), um gemeinsam an den neuen Smart Mapping-Technologien zu arbeiten. Die Experten kommen vor allem aus dem Bereich Vermessung, der Software-Entwicklung, Kartographie und dem Datenmanagement.

## 2.3 Die neue amtliche Vektorkarte (basiskarte.de)

Gegenüber den bisherigen Raster-Webkarten der AdV (z.B. WebAtlasDE) wurden neben den LoD1-Gebäuden auch Höhenlinien und Schummerungsdarstellung ergänzt, jeweils natürlich flächendeckend und einheitlich für das gesamte Bundesgebiet. Eine selbst entwickelte Anwendung (Map Editor) stellt zudem unterschiedliche Darstellungen (Styles) zur Verfügung (vgl. Abb. 2). Mit einer Editierfunktion können beliebige Elemente selektiert und hervorgehoben sowie beliebige Ausschnitte zudem als IFrame in eigene Webanwendungen integriert werden.



**Abb.2:** Verschiedene Standardstyles der Webkarte (von links nach rechts): Relief, Standard, Nachtdesign, Luftbild, Infrarot.

Eine Vektorkarte bietet gegenüber der herkömmlichen Rasterkarte eine Reihe von Vorteilen. Die wichtigsten davon sind im Folgenden aufgeführt.

- Vector Tiles benötigen weniger Daten als Rasterdaten, was eine schnelle Datenübertragung vor allem für mobile Anwendungen erlaubt (online und offline).
- Die in den Daten vorhandenen Informationen können analysiert, selektiert und beliebig dargestellt werden.
- Immer vektorscharfe Darstellung, unabhängig von der Bildschirmauflösung und Zoomstufe. Damit auch für 4K-Bildschirme und hochauflösende Smartphones geeignet.
- Kartendrehung und -neigung mit entsprechender Anpassung der Beschriftung.
- 3D-Darstellung, v.a. für Gelände und Gebäude (die einzigartigen Datenbestände der AdV kommen damit besonders zur Geltung).

- Abfrage von Zusatzinformationen zu ausgewählten Kartenobjekten möglich (Interaktivität; wird in der Regel für Points of Interest genutzt).
- Eine Vielzahl an Kartenstilen kann angeboten werden, da rechenaufwändiges Rendering vorab entfällt, und Kachelung nur einmal pro Aktualisierung anfällt.
- Eine Individualisierung des Karten-Layouts durch Kunden ist möglich.
- Frei skalierbare Kartenanwendungen, keine festen Zoomstufen.
- Erzeugung eines Rasterdienstes (WMS, WMTS) aus den Vektordaten möglich.
- Ergänzung durch beliebige weitere Inhalte möglich.

Für Webanwendungen bietet die neue Webkarte daher signifikante Vorteile, sodass die AdV beschlossen hat, dieses Produkt zu einem AdV-Standardprodukt weiterzuentwickeln und damit den WebAtlasDE mittelfristig abzulösen.

## 2.4 Eingesetzte Technologie

Die zunehmende Leistungsfähigkeit der Clients und wachsende Bandbreiten ermöglichen den Einsatz neuer Web-Technologien, auch im Zusammenhang mit Geodaten und Kartenanwendungen. Karten werden im Web zunehmend nicht mehr als vorkonfektionierte Rasterbilder angezeigt, sondern als Vektordaten an den Client geliefert, der sie dann selbst anzeigt (rendert). Diese, zumindest für die amtliche Vermessung noch recht neue Technologie, basiert auf sogenannten VectorTiles, die derzeit noch in verschiedenen Formaten vorliegen, da sich ein endgültiger Standard noch nicht etabliert hat. Infolgedessen ist sowohl auf Serverseite bei der Bereitstellung der Daten, als auch auf Clientseite bei der Entwicklung von Anwendungen noch viel Raum für Entwicklung. Smart Mapping hat sich zum Ziel gesetzt, diese modernen Technologien mit amtlichen Datenquellen nutzbar zu machen.

Beim Prototyp der Webkarte kommen sowohl bewährte als auch neue Software und Technologien zum Einsatz. Hier eine Übersicht:

- Linux Server: Betriebssystem Linux für die Entwicklungsplattform.
- GDAL/OGR: eine freie Programm-Bibliothek für die Übersetzung räumlicher Rasterdaten.
- Postgresql / PostGIS: GIS-Datenbank.
- T-Rex: zur Erzeugung von VectorTiles in der Datenbank.
- Apache HTTP Server: Webserver der Plattform.
- MapServer: Bereitstellung von Geodatendiensten.
- GeoServer: Webserver, der es ermöglicht Karten und Daten verschiedener Formate Standardanwendungen wie Web Browsern und Desktop GIS bereit zu stellen.
- Map Editor auf Basis von Mapbox GL: Webanwendung zur Darstellung der Webkarte.

Die Arbeitsgruppe entscheidet dabei selbst, welche Tools zum Einsatz kommen. Bisher wurden ausschließlich Open Source-Produkte verwendet.

## 2.5 Weiteres Vorgehen

Daneben sind die gewählten Datenthemen zu vervollständigen und bundesweit bereitzustellen. Die AdV möchte frühzeitig in den Dialog mit Webentwicklern und Nutzern eintreten und hat eine zeitnahe Veröffentlichung als offene "Beta-Version" am 1.3.2020 vorgesehen.

Die Beta-Version wird in **www.adv-smart.de** bereitgestellt und enthält folgende Komponenten, die zu Testzwecken verwendet werden dürfen (siehe Lizenzbedingungen):

- Smart Mapping Homepage.
- Smart Mapping Karten-Anwendung (Map Editor).
- Smart Mapping VectorTile-Dienst.
- Smart Mapping Schummerungs-Dienst.

Entsprechende Dokumentationen sind ebenfalls enthalten. Die Weiterentwicklung zum AdV-Standardprodukt ist bis Ende 2020 geplant. Dann soll der WebAtlasDE durch die neue Webkarte ersetzt werden. Parallel dazu soll eine hochauflösende Druckfunktionalität realisiert werden. Anschließend erfolgt eine Evaluierung, ob eine solche Druckausgabe als möglicher Nachfolger der DTKs in Frage kommt oder die vorhandenen Verfahren weiterhin bestehen bleiben müssen.

## Literatur

SEIFERT, M. (2019), Markus Seifert: Smart Mapping – das agile Verfahren der AdV, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), Heft 6/2019, Seite 362 - 368.  
SMART MAPPING HOMEPAGE: [www.adv-smart.de](http://www.adv-smart.de)

# Cop4ALL NRW - Copernicus für ATKIS<sup>®</sup>, ALKIS<sup>®</sup> und Landbedeckung in NRW

Stefan RATTMANN

Kreisverwaltung Kleve · Nassauerallee 15-23 · 47533 Kleve

E-Mail: stefan.rattmann@kreis-kleve.de

## 1 Einführung in das Thema

Nicht erst seit dem Start des Copernicus-Satellitenprogramms der EU bieten sich Fernerkundungsdaten wegen ihrer hohen zeitlichen Auflösung und ihrer gegenüber den klassischen Luftbildern zusätzlichen spektralen Informationen als Grundlagendaten zur Aktualisierung landschaftsbeschreibender Datenbestände an (EU 2015). Mit der kostenfreien Verfügbarkeit dieser Daten im Rahmen von Copernicus ist eine nicht unbedeutende Hürde entfallen, sich der Nutzung dieser Daten auch in der öffentlichen Verwaltung zu stellen. Der Nutzen satellitenbasierter Fernerkundungsdaten, die der klassische Luftbildinterpret bestenfalls als „schlechte Luftbilder“ wahrnimmt, lässt sich nicht durch althergebrachte - überwiegend visuelle - Methoden erschließen: es bedarf vielmehr der Adaptierung hochentwickelter Analysemethoden, die gerade in den letzten Jahren durch verschiedene Entwicklungen im Bereich des Machine-Learning deutliche Fortschritte gemacht haben.

Im vorliegenden Beitrag wird das Vorhaben Cop4ALL NRW vorgestellt und ein Einblick in den aktuellen Stand der Projektarbeit gegeben.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Motivation und Ziele

Seit 2012 ist den Katasterbehörden in Nordrhein-Westfalen die Aufgabe gestellt, die Amtliche Basiskarte (ABK) als Nachfolger der Deutschen Grundkarte 1:5.000 bzw. der Digitalen Grundkarte zu erstellen und die dazu erforderlichen Daten im Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS<sup>®</sup>) zu führen. Zusammen mit der erstmaligen Realisierung bis zum 31.12.2019 wurde ihnen aufgetragen, die landschaftsbeschreibenden Inhalte des Kartenwerks in einem künftig mindestens dreijährigen Turnus zu aktualisieren (MIK NRW 2012). Ein wesentlicher Bestandteil dieser Inhalte sind die Daten zur Tatsächlichen Nutzung (TN), welche in semantisch ähnlicher Form auch im Amtlichen Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS<sup>®</sup>) durch die für die Landesvermessung zuständige Behörde Geobasis NRW geführt und gepflegt werden.

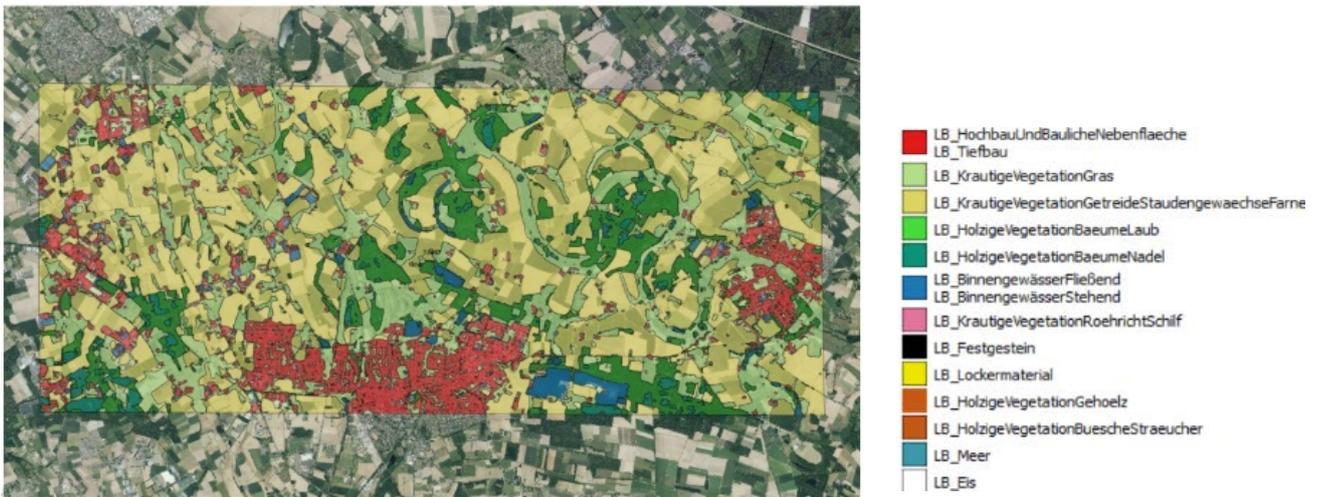
Im Kontext der Harmonisierung von ALKIS<sup>®</sup> und ATKIS<sup>®</sup> hat sich die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) mit Beschlüssen aus den Jahren 2017 und 2018 dahingehend ausgerichtet, ab dem 31.12.2023 die Landbedeckung und die Landnutzung jeweils als weitere Datenbestände neben der TN anzubieten (ADV 2017, ADV 2018). Während die Landbedeckung (LB) die an einer bestimmten Stelle beobachtete (bio-)physische Bedeckung der Erdoberfläche beschreibt, gibt die Landnutzung (LN) die Verwendung dieser Flächen unter vorwiegend sozio-ökonomischen Gesichtspunkten wieder (ARNOLD et al. 2017). Die TN bildet demgegenüber auch künftig die Erdoberfläche weiterhin in der weitgehend unveränderten Mischnomenklatur ab.

### 2.2 Cop4ALL NRW

Für beide zuvor genannten Anforderungsfelder hat sich NRW das Ziel gesteckt, möglichst effektive Wege zu deren Realisierung zu etablieren. Das Verfahren Cop4ALL NRW soll das Land insbesondere dazu in die Lage versetzen, die Erstableitung und Aktualisierung der LB zu realisieren und zur Aktualisierung der TN bzw. LN beizutragen.

Hierzu ist vom Land NRW die Entwicklung und Implementierung eines zentralen Fernerkundungsverfahrens ausgeschrieben worden, welches sich seit Februar 2019 in der Realisierung befindet. Das Vorhaben wird von einer Projektgruppe auf Landesebene begleitet, an der auch Vertreter der kommunalen Katasterverwaltungen beteiligt sind. Neben den Sentinel-Fernerkundungsdaten der Copernicus-Mission gehen in das Verfahren alle geeigneten Geobasisdaten des Landes ein. Zur Ableitung der LB wird eine überwachte Klassifikation auf der Basis verschiedener Deep-Learning-Algorithmen verwendet, um die verschiedenen Charakteristika der zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten optimal nutzen zu können.

Nachdem Ende 2019 erste LB-Testdaten mit dem Verfahren erzeugt wurden, steht seit Ende Januar 2020 eine Testimplementierung des Systems zur Verfügung.



**Abb. 1:** Klassifikationsergebnis aus dem Prototypen Cop4ALL NRW zur Ableitung der LB.

Sekundärindikatoren differenzieren das Ergebnis der Klassifikation bis zum Umfang des vorgegebenen LB-Schemas. Auf der Grundlage der detektierten LB ermittelt das Verfahren künftig Änderungshinweise für die TN.

Das Verfahren ist so konzipiert, dass es Standardabläufe, aber auch individuelle Parametrisierungen im erforderlichen Umfang bereitstellt.

**Abb. 2:** Benutzeroberfläche aus dem Prototypen Cop4ALL NRW.

Die fertige Implementierung des Verfahrens soll in NRW Anfang 2021 zur Verfügung stehen und kann als zentrales Verfahren sowohl von Geobasis NRW als auch von den kommunalen Katasterbehörden genutzt werden. Es ist grundsätzlich auch zur Weiterverwendung in anderen Bundesländern geeignet, um die LB vollumfänglich ableiten zu können. In diesem Zusammenhang ist Cop4ALL NRW als eines von zwei Referenzverfahren ausgewählt worden, welche eine Arbeitsgruppe des Lenkungsausschuss Geobasis der AdV als Standardimplementierungslösung für eine bundesweit einheitliche Ableitung der LB prüft (BEHR ET AL. 2020).

Um alle Anforderungen erfüllen zu können, die in NRW an die Führung und Aktualisierung von ABK, ATKIS® und LN gestellt werden, wird es jedoch nicht ausreichen, sich allein der Fernerkundung zu bedienen. Änderungshinweise aus behördlichen Verfahren, die jedermann oder der Vermessungs- und Katasterverwaltung zur Erfüllung ihrer Aufgaben zugänglich sind, müssen ergänzend hinzugezogen werden (sog. Methodenmix). Auch an der systematischen Erweiterung dieses Ansatzes auf der Grundlage des Leistungskatalogs für die öffentliche Verwaltung (LeiKa) wird in NRW gearbeitet (IT-PLANUNGSRAT 2020).

## Literatur

- ADV (2017), Beschluss des AdV-Plenums 129/3 gemäß Nr. 5.1 der GO-AdV 2016: Fortschreibung der AAA@-Fachschemata und Entwicklung eines separaten Fachschemas für die Führung von Landbedeckung und Landnutzung, 2017.
- ADV (2018), Beschluss des AdV-Plenums P2018/6 gemäß Nr. 5.2 der GO-AdV 2018: Strategische Eckpunkte zur Einführung der nächsten Referenzversion der GeoInfoDok und zur Einführung von Landbedeckung und Landnutzung, 2018.
- ARNOLD, S., KURSTEDT, R., RIECKEN, J. & SCHLEGEL, B. (2017), Paradigmenwechsel in der Landschaftsmodellierung – von der Tatsächlichen Nutzung hin zu Landbedeckung und Landnutzung. In: zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 1/2017, 142. Jg., S. 30, DOI: 10.12902/zfv-0152-2016.
- BEHR, C., KÄKER, R. KULLMANN, K.-H., KURSTEDT, R., LUCAS, C., RATTMANN, S., SANDMANN, S. & WIESE, K. (2020), Landbedeckung und Landnutzung – Realisierung neuer Geobasisdatenprodukte. In: zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 1/2020, 145. Jg., S. 55, DOI 10.12902/zfv-0288-2019.
- EU (2015), Copernicus - Europas Blick auf die Erde. URL [https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus\\_brochure\\_DE\\_web\\_Oct2017.pdf](https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus_brochure_DE_web_Oct2017.pdf), Zugriff 25.01.2020.
- IT-PLANUNGSRAT (2020), Projekte, Maßnahmen und Anwendungen, Anwendungen – Leika. URL <https://www.it-planungsrat.de/DE/Projekte/Anwendungen/LeiKaPlus/leiKaPlus.html>, Zugriff 25.01.2020.
- MIK NRW (2012), Das Liegenschaftskataster in NRW - Meilensteine ab dem 01. Januar 2013. Nicht veröffentlichter Runderlass des Ministeriums für Inneres und Kommunales NRW.

# BIM basierter Bauantrag

Dr.-Ing. Kai-Uwe KRAUSE

Freie und Hansestadt Hamburg · Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung · Leitstelle XPlanung / XBau ·  
Neuenfelder Straße 19 · 21109 Hamburg  
E-Mail: kai-uwe.krause@gv.hamburg.de

## 1 Einführung ins Thema

Der Bau- und Planungsbereich in der Bundesrepublik Deutschland erfordert einen intensiven Ressourceneinsatz in der öffentlichen Verwaltung und in der Privatwirtschaft, um die hoheitlichen Aufgaben der Baurechtssetzung und die Durchführung von Genehmigungsverfahren zur baulichen Umsetzung von Bau- und Planungsvorhaben durchzuführen. Der Einsatz der allgegenwärtigen Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) schreitet auch in den Verwaltungsdienststellen im Bau- und Planungsbereich bei Bund, Ländern und Kommunen ständig voran. Insbesondere die vielfältigen Neuerungen im Bereich der raumbezogenen Datenerfassung und -verarbeitung, der Internet- und Sensortechnologien, der mobilen Kommunikation und Ortung und deren sukzessive Vernetzung bieten Bau- und Planungsdienststellen ein zunehmendes Potenzial an Nutzungsmöglichkeiten. In der raumbezogenen Planung auf den unterschiedlichen fachlichen und räumlichen Ebenen von Bund, Ländern, Regionen und Kommunen ist der IKT Einsatz für die Erstellung und Visualisierung von Planwerken zur Planfeststellung, der Raumordnung, Landschafts- und Bauleitplanung heute nicht mehr wegzudenken. Eine besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Nutzung von Geographischen Informationssystemen (GIS) und Computer-Aided Design Systemen (CAD): Von der BIM Modellierung über räumliche Analyse- und Simulationsverfahren sowie mehrdimensionalen Visualisierungen bis hin zu neuen Kommunikations-, Interaktions- und Steuerungsformen. Es gibt heute kaum noch Planungsakteure, die bei einer Erstellung ihrer Entwurfs- und Planwerke auf den Einsatz von CAD bzw. GIS verzichten. Sowohl in kommunalen Planungämtern als auch in allen staatlichen Fachämtern gehören IT-Anwendungen zur raumbezogenen Datenverarbeitung heute zur Grundausstattung. Dieser kontinuierliche Fortschritt macht es notwendig, die formalen, technischen und juristischen Rahmenbedingungen einer elektronischen Bereitstellung und Verarbeitung von planungsrelevanten Daten und Nachrichten innerhalb und mit den Dienststellen der Bau- und Planungsverwaltung zu koordinieren und im Bedarfsfall länderübergreifend einheitlich zu regeln.

Trotz der Nutzung IT-gestützter Verfahren im Anwendungskontext Planen und Bauen werden jedoch bislang nur ein relativ geringer Teil des vorhandenen gewinnbringenden Potentials des Einsatzes IKT gestützter Methoden im Bau- und Planungswesen genutzt. Baugenehmigungs- und Planrechtsetzungsverfahren in den Dienststellen der öffentlichen Verwaltung sind in weiten Teilen von Medienbrüchen oder Transformationsverlusten durch technische und semantische Inkompatibilitäten der eingesetzten IT-Verfahren geprägt. Benötigte Informationen werden im Laufe von Planungs- und Entwurfsprozessen bzw. behördlicher Aufstellungs- und Genehmigungsverfahren ggf. mehrfach erfasst. Vorhandene digitalisierte Informationen gehen beim Austausch von Daten vielfach verloren und müssen häufig digital neu erfasst werden.

Nahezu alle Bauaufsichtsbehörden in Deutschland setzen zur Bearbeitung der bei ihnen anhängigen Verwaltungsverfahren datenbankorientierte IT-Systeme ein. Teilweise sind bereits Verbindungen zu korrespondierenden Systemen (z.B. Geoinformationen / ALKIS, Grundbuch etc.) vorhanden. Aufbau und Funktionsweise dieser Programme und der zugrundeliegenden Datenbanken variieren entsprechend den kommunalen und föderalen Anforderungen. Die im bauordnungsrechtlichen Verwaltungsverfahren zu beteiligenden Stellen der öffentlichen Verwaltung arbeiten ihrerseits mit eigenen IT-Systemen.

Parallel zum Bereich der öffentlichen Verwaltung werden bei den am Bau Beteiligten (Architekten, Stadtplaner, Fachingenieure, gewerbliche Bauherren und weitere betroffene Berufsgruppen) wiederum zahlreiche unterschiedliche IT-Systeme für die Bearbeitung von Bauantragsformularen und sonstiger Bauvorlagen eingesetzt. Im baukonstruktiven Bereich verspricht die Anwendung von BIM Prozessen zumindest eine Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Gewerken bzw. zwischen denen von Fachingenieuren genutzten IT-Fachanwendungen während des Bauprozesses sicherzustellen. Die Spezifikation von BIM Prozessen und Datenstandards (IFC), die in BIM Prozessen genutzt werden, sowie die Anwendungsszenarien BIM basierter Software konzentrieren sich in der Regel auf den baukonstruktiven Bereich (Kollisionsprüfungen) und vernachlässigen die Abbildung von Planungs- und Genehmigungsprozessen, die vor der eigentlichen Baudurchführung liegen. Die gebräuchlichen BIM Definitionen greifen daher zu kurz.

Zielsetzung der Einführung und Umsetzung von BIM Strategien sollte hingegen die Etablierung von durchgängigen digitalen Prozessketten in Planungs- und Bauprozesse auf Basis von nationalen und internationalen IT-Standards sein.

## 2 Forschungsprojektfragestellung

Im Forschungsprojekt „Konzept für die nahtlose Integration von BIM in das behördliche Bauantragsverfahren“ ([www.bimbauantrag.de](http://www.bimbauantrag.de)) wird im Kontext der Etablierung durchgängiger Prozessketten im Planungs- und Baubereich der Teilaspekt der Nutzung von BIM-Modellen im Rahmen von bauordnungsrechtlichen Verwaltungsverfahren, insbesondere dem Bauantragsverfahren, analysiert. Das Projekt wird vom Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen (Prof. Dr. König), der planen-bauen 4.0 GmbH, der im Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung angesiedelten Leitstelle XPlanung / XBau sowie Berufsverbänden im Planungs- und Bauwesen bearbeitet bzw. begleitet.

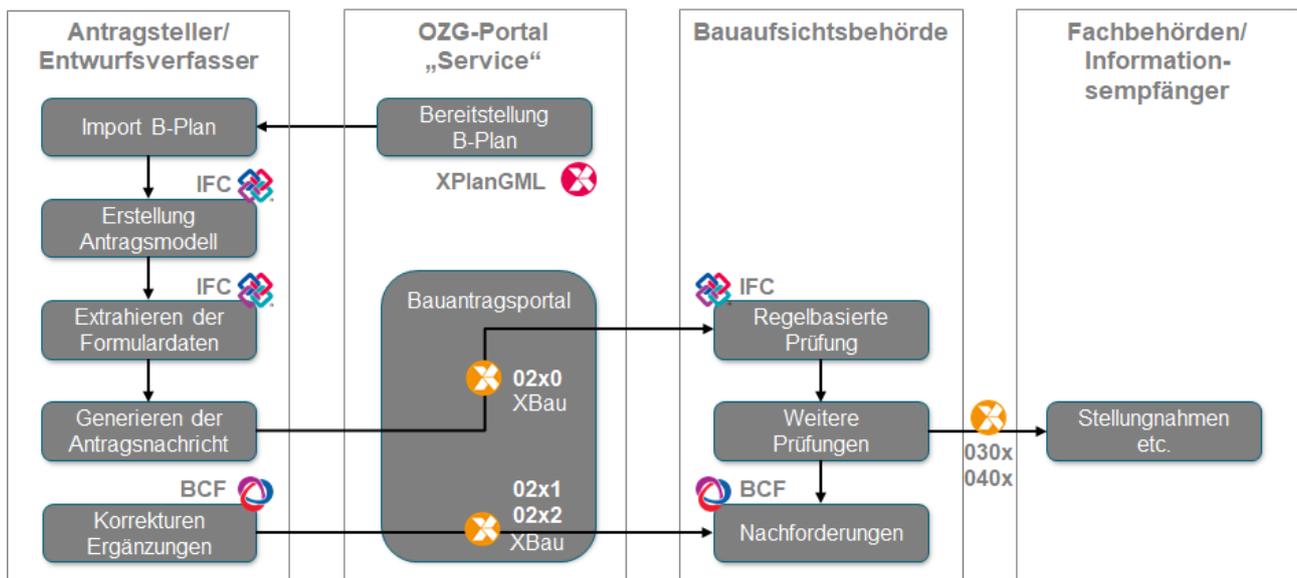
Dazu wird der ISO Standard 16739 (Industry Foundation Classes) in Verknüpfung mit denen vom IT-Planungsrat beschlossenen Standards XPlanung / XBau bzgl. der Anwendbarkeit hinsichtlich Vollständigkeit des erforderlichen Informationstransports untersucht. Zudem wird untersucht, welche Mehrwerte und Effizienzgewinne sich auf behördlicher Seite aus der Nutzung von BIM-Modellen ergeben können bzw. welche Hindernisse und zusätzlichen Anforderungen dieser Zielsetzung entgegenstehen. In Zusammenarbeit mit Berufsverbänden im Planungs- und Baubereich werden Vorgaben zur zweckmäßigen Informationstiefe aufgestellt und bzgl. des Erstellungsaufwands bewertet. Die betrachteten Austauschscenarien werden beschrieben und die zugehörigen Daten auf Basis von Model View Definitionen (MVD) formal und prüfbar spezifiziert. Anhand von verschiedenen Beispielen werden die typischen Anwendungsfälle validiert. Hierzu ist eine prototypische Umsetzung vorgesehen.

In der Bedarfsbeschreibung „Austauschstandards im Bau- und Planungsbereich<sup>1</sup>“ werden die Anwendungsfälle formuliert, für die der Beschluss des IT-Planungsrates vom 05.10.2017 zur verbindlichen Einführung der Standards XPlanung / XBau in den Gebietskörperschaften der Bundesrepublik Gültigkeit hat, formuliert. Für den Baubereich werden im Wesentlichen die Anforderungen an die auszutauschenden Informationen und den Nachrichten-basierten Austausch in Genehmigungsverfahren der Bauaufsicht erläutert. Konkrete Vorgaben zur Nutzung des Building Information Modeling werden jedoch bislang nicht aufgeführt, obwohl der Standard XBau auch schon aktuell die Übertragung von IFC Dateien als Bestandteil einer Nachricht eines Bauantragsstellenden an die zuständige Baugenehmigungsbehörde unterstützt. Viele in BIM-Modellen gespeicherte Informationen können prinzipiell in digital gestützten Genehmigungsverfahren der Bauaufsicht genutzt werden. Die wesentliche Forschungsfrage ist daher, wie können BIM-Modelle zur Umsetzung von bundeseinheitlichen Standards zum Austausch und der Verarbeitung von Informationen in bauordnungsrechtlichen Genehmigungsverfahren effizient genutzt werden. Im Forschungsprojekt werden hierzu folgende Fragestellungen bearbeitet:

- welche Prüfprozesse können im Rahmen von Bauantragsverfahren durch BIM-Modelle unterstützt werden,
- welche Anforderungen und Vorgaben an BIM-Modelle und verknüpfte Daten sind dabei zu erfüllen,
- wie kann die Datenqualität bei der Einreichung bzw. beim Upload eines Antrags geprüft werden,
- wie könnte ein Werkzeug zur Prüfung aussehen,
- kann die Antragsprüfung und Antragsbearbeitung durch eine geeignete Visualisierung der BIM-Modelle unterstützt werden,
- erfordert die Erstellung von BIM-Modellen für Bauantragsverfahren einen größeren Aufwand beim Architekten und
- kann der Mehraufwand durch die Vereinfachung der Abgabe und Prüfung kompensiert werden?

Während der Projektlaufzeit des Forschungsprojektes wurde vom Bundestag das Onlinezugangsgesetz (OZG) am 14.08.2017 beschlossen, welches innerhalb einer Übergangszeit von fünf Jahren vorsieht, über einen zu schaffenden Portalverbund des Bundes, der Länder und Kommunen der Öffentlichkeit und der Wirtschaft einen Online Zugang zu ca. 575 Verwaltungsleistungen bereitzustellen. Diese Leistungen wurden in 15 Themenfelder untergliedert. In dem Themenfeld „Bauen & Wohnen“ wurde unter Federführung des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern in Zusammenarbeit mit der Leitstelle XPlanung / XBau und mit Unterstützung von McKinsey im Rahmen eines Digitalisierungslabors ein Prototyp für ein Portal zur digital gestützten Bauantragsstellung erarbeitet. In diesen Prototyp sind bereits Ideen und Erkenntnisse des Forschungsprojektes eingeflossen. Eine Idee besteht darin, über einen Online Zugang zum Baugenehmigungsverfahren, Projekträume für Antragsstellende bereitzustellen, über die räumlich verortete BIM Modelle der Bauantragsgeometrie der Baugenehmigungsbehörde zur Prüfung bereitgestellt werden können. Bereitgestellte BIM Modelle können gegen die städtebaulichen Kennziffern eines Bebauungsplanes (z.B. GFZ, GF, GZR, GR, BMZ, BM, Z oder sonstige Höhenangaben) online geprüft werden.

<sup>1</sup> [https://www.it-planungsrat.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2017/Entscheidung\\_2017\\_37.html](https://www.it-planungsrat.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2017/Entscheidung_2017_37.html)



**Abb. 1:** Allgemeines Systemkonzept für den BIM-basierten Bauantrag / Nutzung von IT-Standards im Planungs- und Baubereich im OZG Kontext.

Für den Gesamtprozess des BIM-basierten Bauantrags wird ein Systemkonzept entwickelt. Dreh- und Angelpunkt des Konzepts ist die Bereitstellung einer digitalen Schnittstelle auf Behördenseite, die bestimmte Online-Services bereitstellt. In einem ersten Schritt werden über diese Online Services digitale Bebauungspläne (XPlanung) zum Download im XPlanGML Format bereitgestellt, welche ggf. noch durch Geodäten in der Lage ergänzt oder korrigiert werden müssen. Der Architekt importiert die standardisierten XPlanGML Daten in seine Fachapplikation und erstellt darauf aufbauend sein BIM-Modell. Weitergehende Anforderungen an die OZG Leistung „Einstellen von raumbezogenen Planwerken in das Internet“ werden im Rahmen eines zukünftigen OZG Labors noch weiter im Detail erhoben.

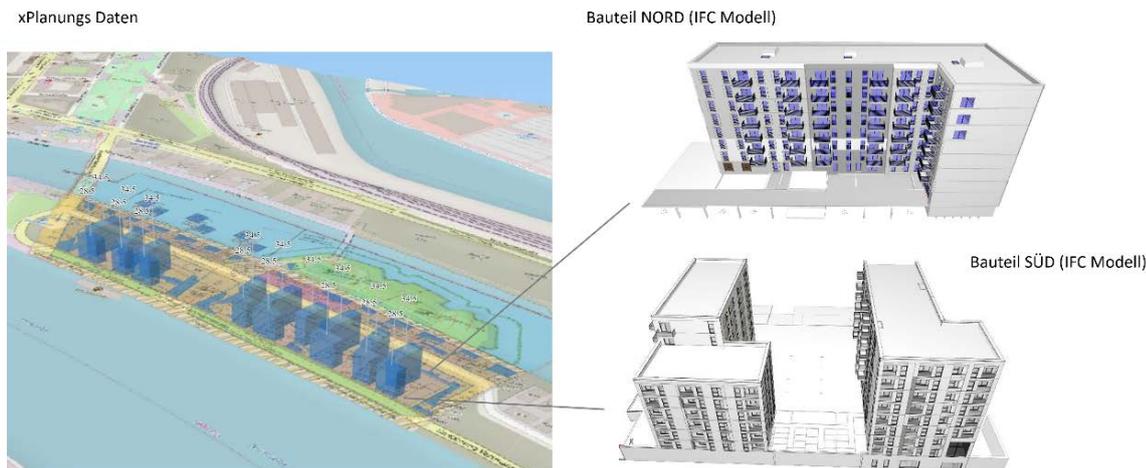
Aus dem BIM Modell sollen möglichst viele Informationen in die Datenfelder des Webinterfaces des digital gestützten Baugenehmigungsverfahrens extrahiert werden können. Weiterhin soll der Architekt die Möglichkeit haben, sein Modell vorprüfen zu lassen, indem er mit geeigneter Prüfsoftware sein Modell regelbasiert prüft. Dadurch können unnötige Iterationsschleifen wegen Fehlern im Modell hinsichtlich des Genehmigungsverfahrens bereits vor der Abgabe erkannt und vermieden werden. Neben den alphanumerischen Metadaten eines Bauvorhabens (Bauherr, Architekt, Belegenheit, Nutzung, Gebäudeklasse, Nebenanlagen wie Stellplätze, Zufahrten und Kleinkinderspielplätze) sollen auch insbesondere Informationen zu der Baubeschreibung inkl. der verwendeten Baumaterialien oder Baustoffe aus dem BIM extrahiert werden. Nach erfolgter Prüfung wird der digitale Bauantrag (XBau) zusammen mit dem IFC-Modell und weiteren benötigten Plänen (PDF) an die Behörden-Schnittstelle über eine XBau Nachricht (Nachricht 02x0) an die zuständige untere Baugenehmigungsbehörde übermittelt. Nach erfolgter Einreichung werden behördenintern fachbezogene Prüfungen durchgeführt. Auf Behördenseite kann ebenfalls das übertragene Modell zur Prüfung herangezogen werden oder, wenn die Behörde noch nicht auf BIM-Methoden umgestellt hat, die bisherige Variante mit Plänen (digital) verwendet werden. Alle weiteren Schritte verlaufen ebenfalls digital bis hin zur Genehmigung. Zur modellbasierten Kommunikation (d.h. Anmerkungen/Kommentare direkt am Modell) ist der Einsatz von kollaborativen BIM-fähigen Formaten vorgesehen (BCF).

Im Forschungsprojekt werden die Anforderungen an BIM-Modelle bzgl. Informationsinhalt formuliert, um dem Informationsstand heutiger Bauantragsunterlagen zu entsprechen und die Extraktion von Informationen im Rahmen von definierten Anwendungsfällen zu ermöglichen. Bei der Definition wird im Sinne eines neutralen und offenen Datenaustauschs auf vorhandene Open BIM-Standards (IFC, MVD, BCF)<sup>2</sup> aufgebaut. Es wird untersucht, welche Informationen aus digitalen Bebauungsplänen als Basis für die Erstellung von BIM-Modellen für den Bauantrag genutzt und welche Daten nach Projektabschluss aus dem BIM-Modell in die Fortführung des Liegenschaftskatasters übernommen werden können. Auswirkungen auf die bestehenden Prozesse werden untersucht und mit den beteiligten Partnern diskutiert. Des Weiteren erfolgt eine prototypische Software-technische Realisierung, die perspektivisch durch die Behörden genutzt werden kann.

<sup>2</sup> BIM Collaboration Format, <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>

### 3 Demonstrator

Zur Demonstration des grundlegenden Ablaufs eines BIM-basierten Bauantrags wurde zunächst an einem konkreten Beispiel ein Vorhaben in der Hamburger HafenCity gewählt. Der Bebauungsplan „HafenCity 14“ im Format XPlanGML wird über die vom Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Freien und Hansestadt Hamburg betriebene IT Infrastruktur der Urban Data Platform bereitgestellt.<sup>3</sup> Die Planung der Gebäude erfolgte durch die Architekturbüros Schenk + Waiblinger Architekten (Bauteil Süd) und Blauraum Architekten GmbH (Bauteil Nord). Von den Architekturbüros wurden BIM-Modelle im IFC-Format der Gebäude bereitgestellt, die im weiteren Verlauf des Projekts als Beispieldaten für die prototypische Implementierung des BIM-basierten Bauantrags dienen.



**Abb. 2:** Übersicht über Planungsgebiet und Position der Gebäude aus dem Beispielprojekt.

Zur Analyse der durchzuführenden Prüfschritte wurde zunächst das Prüfprogramm für den Bauantrag für das konkrete Beispielprojekt (Baufeld 99) zusammengestellt. Das Prüfprogramm, dessen Schritte bisher allesamt manuell basierend auf ausgedruckten Plänen auf Papier abgearbeitet werden, beinhaltet Parameter und Regelungen, die zu prüfen sind. Hierbei werden planungsrechtliche Regelungen (BauGB) sowie bauordnungsrechtliche Regelungen (Hamburger Bauordnung) betrachtet. Aus dem gesamten Prüfprogramm wurde eine Auswahl an Parametern und Prüfregeln ausgewählt, die die Arbeit beim Prüfen eines Bauantrags maßgeblich erleichtern und beschleunigen würden, wenn sie automatisiert erfolgen. Basierend auf einer Priorisierung der Prüfregeln erfolgt im Laufe des Projekts die kontinuierliche prototypische Implementierung der Prüfregeln mit Hilfe von geeigneter BIM-fähiger Prüfsoftware.

Zur Durchführung einer BIM-basierten Prüfung von Modellen bei der Einreichung von Bauanträgen müssen eingereichte Modelle bestimmte Anforderungen erfüllen, damit eine automatisierte Prüfung erfolgen kann. Im Rahmen dieses Projektes wird daher eine Modellierungsrichtlinie und eine Model View Definition (MVD) für den BIM-basierten Bauantrag erstellt, aus der ersichtlich wird, welche Informationen BIM-Modelle aufweisen müssen, damit sie im Rahmen einer automatisierten BIM-basierten Prüfung angewendet werden können. Zum Testen dieser MVD wurde ein idealtypisches Testgebäude und ein Testbebauungsplan generiert, die alle notwendigen Informationen im BIM Modell als auch im Bebauungsplan enthalten. Das Testgebäude wurde zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse alternativ sowohl mit den BIM Editorsoftwareprodukten: Archicad, Allplan und Revit erstellt und jeweils als IFC Datei exportiert. Der prototypische Bebauungsplanentwurf wurde mit der AutoCAD Applikation WS-LANDCAD erstellt und als XPlanGML Datei exportiert.

Auf Basis des Open Source APSTEX – IFC JAVA 3D Viewer wird im Projekt eine Anwendung entwickelt, die XPlanGML-Daten, XBau-Nachrichteninstanzen sowie IFC Modelle visualisieren und verarbeiten kann. In der Anwendung werden die in der XPlanGML vorhandenen Objektklassen mit ihren Attributen, die die Festsetzungen eines Bebauungsplanes wiedergeben, visualisiert. So können z.B. für einen Gebäudeentwurf relevante Festsetzungen wie z.B. die räumliche Lage von überbaubaren Grundstücksflächen, Nebenanlagen oder Zufahrtswegen in der Anwendung visualisiert werden.

<sup>3</sup> [https://geodienste.hamburg.de/HH\\_WFS\\_xplan\\_dls?service=WFS&request=GetFeature&version=2.0.0&resolvedepth=\\*&StoredQuery\\_ID=urn:ogc:def:query:OGC-WFS::PlanName&planName=HafenCity14](https://geodienste.hamburg.de/HH_WFS_xplan_dls?service=WFS&request=GetFeature&version=2.0.0&resolvedepth=*&StoredQuery_ID=urn:ogc:def:query:OGC-WFS::PlanName&planName=HafenCity14)

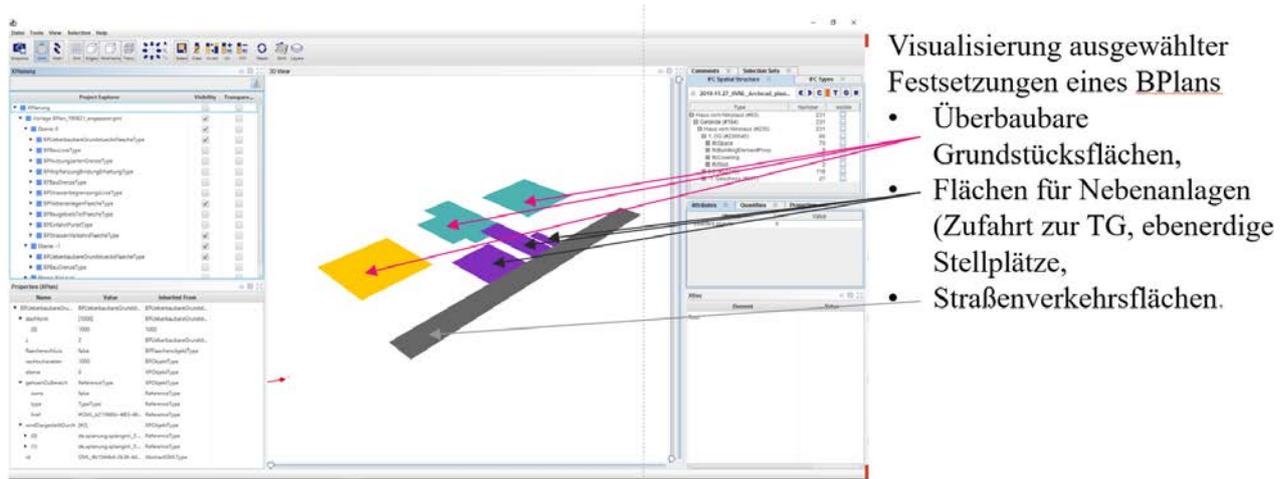


Abb. 3: Auswahl und Visualisierung ausgewählter Festsetzungen eines Bebauungsplanes, codiert in XPlanGML.

Die Anwendung ermöglicht die Visualisierung und Generierung von 3D Hüllen der in Bebauungsplänen festgesetzten überbaubaren Grundstücksflächen als IFC Datei. Es gilt dabei zu beachten, dass diese 3D Hüllen keine realen Gebäude visualisieren, sondern lediglich 3D Hüllen repräsentieren, in denen Planungsrecht für bestimmte Nutzungen festgesetzt wurde. Das Volumen der Hüllen kann aus den Festsetzungen zur Anzahl der Vollgeschosse oder aus Höhenangaben zur Höhe baulicher Anlage abgeleitet werden. Die Bauantragsgeometrie muss innerhalb dieser Hülle lokalisiert sein. Auf Basis dieser Hüllen können Kollisionsprüfungen spezifiziert werden. Planungsrechtlich zulässige Überschreitungen (z.B. Überschreitung von Baugrenzen) wie z.B. Balkone müssen im Bauwerksmodell speziell als Raum ausgezeichnet werden.

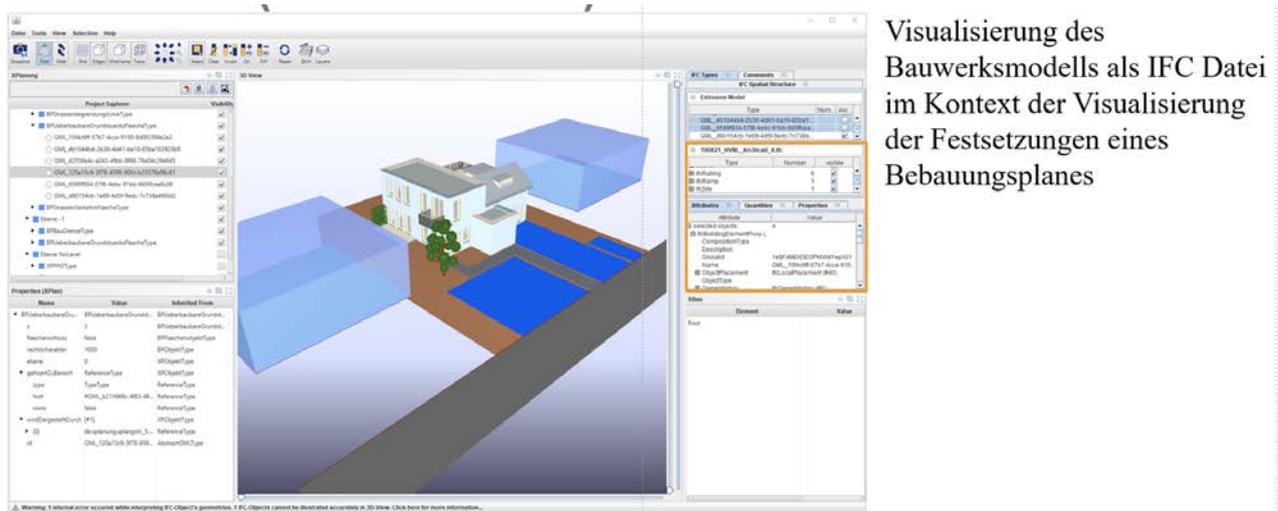


Abb. 4: Visualisierung der IFC Datei des Bauwerksmodells sowie der auf Basis von XPlanGML generierten IFC Daten, welche 3D Hüllen (transparent) der überbaubaren Grundstücksflächen visualisieren.

Ferner ermöglicht die Anwendung die Extraktion von Informationen aus dem BIM Modell und Übernahme bzw. Berechnung von Kennzahlen (z.B. am Bau beteiligte Personen, Art des Gebäudes, Gebäudeklasse, GFZ, GRZ, Geschossfläche, ggf. Verkaufsfläche, bebaute Grundstücksfläche, Stellplätze, Nebenanlagen, Höhe der baulichen Anlage, Anzahl von Vollgeschossen, Nutzungseinheiten, ...) in eine XBau 0200 Bauantragsnachricht. Schließlich sind in der Anwendung Regeln zur Prüfung der Anforderungen aus der Modellierungsrichtlinie implementiert.





Um in der GDI eine 3D-Darstellung der Geobasisdaten zu ermöglichen wurde ein spezieller Client beschafft und für die Belange des Thüringer Geoportals angepasst. Schwerpunkt ist die Visualisierung der landesweiten Gebäude im LOD2 oder LOD1 in Kombination mit den DGM und den DOP's. Es ist möglich die Gebäude in den unterschiedlichsten Darstellungsformen zu präsentieren und Gebäudeinformationen abzurufen (vgl. Abb. 2).



Abb. 2: 3D Visualisierung Thüringens auf dem Geoportal (LOD2/DGM/DOP).

Für den Download der 3D-Geobasisdaten wurden eine spezielle, einfach zu bedienende Downloadkomponente im Geoportal-Th entwickelt. Die Daten stehen in einzelnen Kacheln zur Verfügung. Der Nutzer kann durch Auswahl mehrerer Kacheln ein größeres Gebiet zum Download selektieren. Neu geschaffen wurde die Nutzung von Selektionsmöglichkeiten über Datenaktualisierungen. Daneben ist auch die Nutzung von Atom-Feeds möglich (vgl. Abb. 3).



Abb. 3: Downloadclient des Geoportals-Th für DGM-, DOM-, und LAZ-Daten.

## 2.2 Nutzerreaktionen

Das seit dem Jahre 2017 bestehende Angebot zur kostenfreien Nutzung von Geobasisdaten fand bei den Anwendern ein durchweg positives Echo. Das hat sich ebenfalls in einem überraschend breiten Presseecho wiedergespiegelt. Bereits nach wenigen Tagen hatte eine Firma auf Basis der „offenen Geodaten“ ein komplettes 3D-Datenmodell des Landes im Netz visualisiert. GIS-Firmen haben die Daten über Downloadfunktionen für ihre Systeme aufbereitet und stellen sie den Nutzern in verschiedensten Anwendungen zur Verfügung. Bestätigt wurde uns vielfach, dass die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten im Hochschulbereich vollkommen neue Möglichkeiten eröffnen. Wegen der open Data Kriterien der freien Zugänglichkeit und der Nichtdiskriminierung werden keine nutzerbezogenen Daten gespeichert. Eine Übersicht über alle auf den Offenen Geodaten des TLBG basierenden Anwendungen kann es daher nicht geben. Das Potential der frei verfügbaren Geodaten zeigt sich sehr deutlich an den Möglichkeiten einer effizienteren Arbeit in der Verwaltung. Ein Thüringer Landesamt stellt die für Werkverträge notwendigen Geodaten nicht mehr mühevoll zusammen, sondern verweist nur noch auf die Downloadmöglichkeit auf dem Geoportal. Die Methoden zur Datenbereitstellung über das Geoportal werden ständig verbessert. Dabei werden sowohl die Belange der „GIS-Experten“ als auch die der Gelegenheitsnutzer berücksichtigt. Die Downloadfunktionen des Geoportals nutzen heute etwa 10.000 verschiedene Anwender pro Monat. Das Downloadvolumen betrug im Jahr 2019 22 TB. Darunter waren beispielsweise 89.000 Topographische Karten und 97.000 DOP und Luftbilder.

## Literatur

- BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN (2014), Nationaler Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-Data-Charta der G8.  
IKG-GIZ THÜRINGEN (2019), Landesprogramm „Offene Geodaten“.  
GEOPORTAL-TH, [www.geoportal-th.de](http://www.geoportal-th.de).  
GOVDATA, [www.govdata.de](http://www.govdata.de).

# 3D-Visualisierung von Starkregenereignissen

Udo LASCHET<sup>1</sup> und Dr. Joachim THIEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wuppertaler Stadtwerke Energie und Wasser AG· Schützenstraße 34 · 42281 Wuppertal

E-Mail: Udo.Laschet@wsw-online.de

<sup>2</sup>CADMAP Consulting Ingenieurgesellschaft mbH· Weserstraße 101 · 45136 Essen

E-Mail: jthiel@cadmap.de

## 1 Einführung ins Thema

Der sich vollziehende Klimawandel rückt die Thematik der häufiger und extremer auftretenden Starkregen und Hochwässer verstärkt ins Bewusstsein der politisch Verantwortlichen und der Bürger. Auch in Wuppertal hat der Starkregen des Jahres 2018 die erschreckenden Folgen eines solchen Ereignisses gezeigt. Die Bürger stehen vor ganz konkreten Fragestellungen, wie hoch das Gefährdungspotenzial ihres Wohneigentums ist und inwieweit sie die Folgen mit geeigneten Maßnahmen reduzieren können. Für die politisch Verantwortlichen gilt dies in besonderem Maße im übergeordneten Sinne.

Starkregengefahrenkarten bieten hier eine erste Möglichkeit für die Beratung der politisch Verantwortlichen. Sie bilden eine Möglichkeit, den Höchstwasserstand über Gelände in farbiger Abstufung zu visualisieren. Anschaulicher wird die Darstellung der Wasserstände über eine 3D-Visualisierung der Auswirkungen solcher Naturereignisse. Sie geht hier einen wichtigen Schritt weiter und wird zum wichtigen Hilfsmittel für politische Entscheidungen und transparente Bürgerinformationen.

Entscheidend für die Auswirkungen des Starkregens sind jedoch nicht in erster Linie die Höchststände, sondern die Dauer der durchlaufenden Welle und die Energie in Form der Strömungsgeschwindigkeit, die sie mit sich führt. Solche Informationen sind über die durchgeführten äußerst aufwändigen und aufschlussreichen Simulationsrechnungen verfügbar, können aber bislang nur als stationäre Momentaufnahmen visualisiert werden.

In diesem Beitrag wird die dynamische zeitabhängige Visualisierung vorgestellt. Über eine browserbasierte Anwendung können so Gefahrenpotenziale anschaulich dargestellt und reale Szenarien plakativ in 3D vor Augen geführt werden.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Simulationsrechnungen

Grundlage der Visualisierungen bei z.B. Starkregengefahrenkarten sind die durchgeführten, hydraulischen Simulationsrechnungen von Starkregenereignissen auf der Basis des Geländemodells und der GIS-gestützt vorliegenden Kanalnetzmodelle. Mittels der sogenannten 1D/2D-Berechnungen werden die mit stadtgebietsweit aufgestellten Niederschlagschreibern gemessenen Regenereignisse simuliert. Die Berechnungen zeigen neben den Schwachstellen des Kanalnetzes (Überlastungen) zusätzlich das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser, welches sich der Topographie folgend in Senken- und Muldenbereichen sammelt und in Summe mit dem Überstauvolumen aus dem Kanalnetz zu erheblichen Gefährdungen und Schäden führen kann. Dabei unterliegen über die Dauer des Regenereignisses gesehen die Wasserstände auf der Geländeoberfläche einer Dynamik. Zusätzlich zur sich „bewegenden“ Welle sind deren zurückgelegte Strecke, deren Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung und natürlich deren zeitlich sich verändernde Wassertiefe wichtige Informationen, die es bei der Beurteilung der Risikofaktoren zu berücksichtigen gilt.

Starkregengefahrenkarten bieten derzeit weitestgehend „nur“ eine 2D-Ansicht mit statischen Wasserständen; meist maximale Wasserstände. Die Dynamik der Welle auf der Oberfläche bleibt unberücksichtigt. Es gilt auch diesen Aspekt zu visualisieren, damit allen Beteiligten auch alle Aspekte der Gefährdungen zur Verfügung stehen. Nicht zuletzt dadurch kann auch eine detailliertere Priorisierung der Gefahrenpunkte durchgeführt werden.



Abb. 1: Starkregengefahrenkarte Wuppertal.

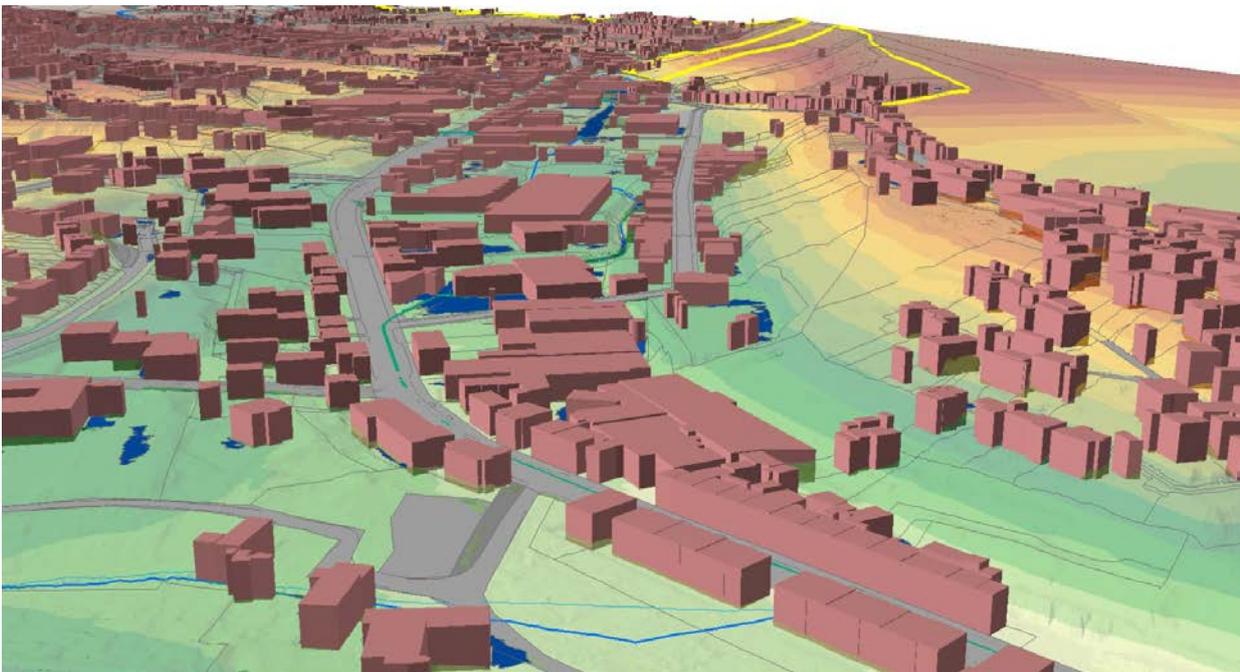


Abb. 2: Stationäres 3D-Bild.

## 2.2 Zeitabhängige 3D-Visualisierung

Das Ergebnis der Simulationsrechnungen enthält die für die Visualisierung wichtigen berechneten Zellen als GIS-Objekte und die zeitabhängigen Zwischenergebnisse pro Zelle.

Die zeitabhängige 3D-Visualisierung erfolgt über den 3D-Viewer WEGA-3D der Firma M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. Der Viewer verwendet die neuesten Webtechnologien und benötigt keine zusätzlichen Plugins für seine

Verwendung. Es ist möglich, Vektordaten, Raster- und WMS-Dienste anzuzeigen. Daten der Starkregensimulation enthalten eine erhebliche Menge an Informationen, und es handelt sich um sehr umfangreiche Datenmengen, die zur Visualisierung ausgewertet werden müssen.

Mit WEGA-3D können auch Daten mit Zeitvariablen verarbeitet werden. Auf diese Weise ist es möglich, zeitabhängige Informationen wie die Starkregen-Wellen performant zu visualisieren. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen werden für die Darstellung automatisiert aufbereitet und stehen dann in der browserbasierten Auskunft auf der Basis des WEGA-3D zur Beauskunftung zur Verfügung.

Um dem Benutzer für eine zeitabhängige Visualisierung stets eine performante Interaktion zu ermöglichen, werden Datenformate wie 3D-Tiles verwendet. Bei diesen Formaten wird die Informationsmenge auf die Menge reduziert, die für den angezeigten Bereich erforderlich ist.

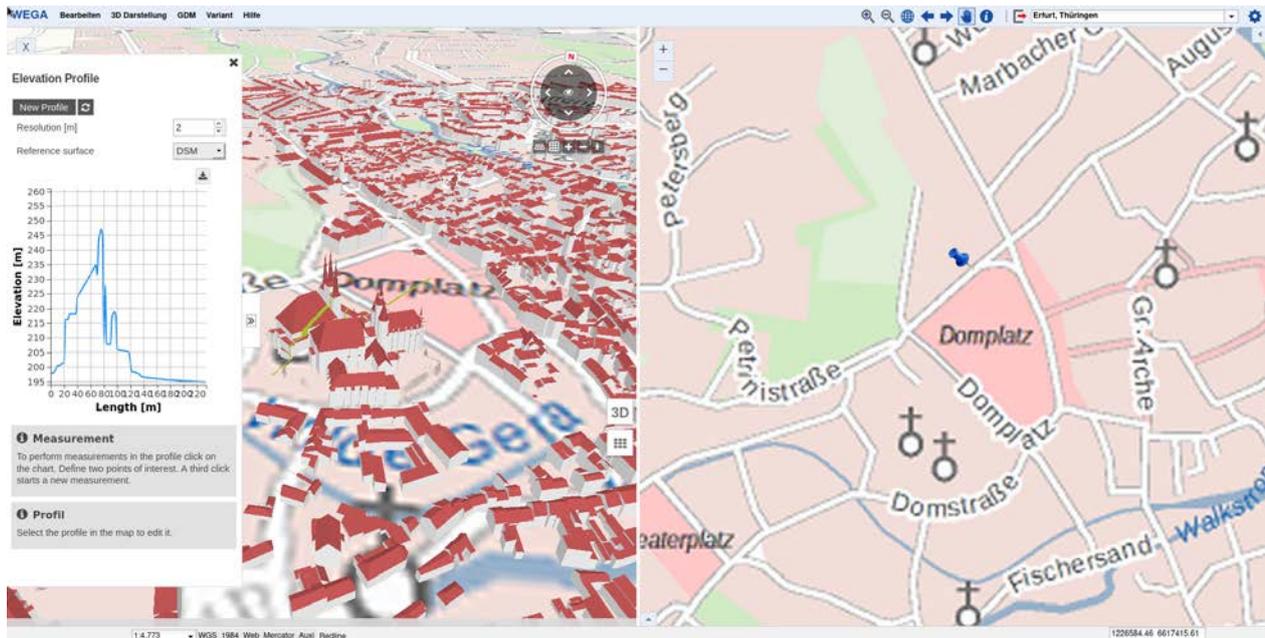


Abb. 3: WEGA-3D Oberfläche zur zeitabhängigen 3D-Visualisierung.

# Von 2D-Daten der Stadt Sindelfingen in die Dritte Dimension

Thomas BELLON und Christian DAHMEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Stadt Sindelfingen · Rathausplatz 1 · 71063 Sindelfingen

E-Mail: Thomas.Bellon@sindelfingen.de

<sup>2</sup>con terra GmbH · Martin-Luther-King-Weg 20 · 48155 Münster

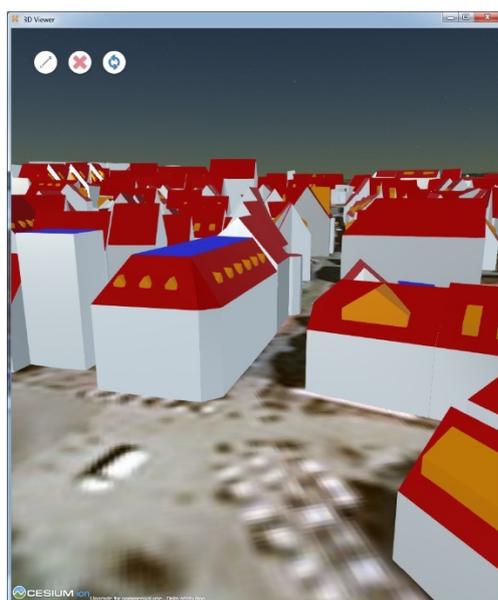
E-Mail: c.dahmen@conterra.de

## 1 Einführung ins Thema

Digitale 3D-Stadtmodelle sind heutzutage in vielen Stadtverwaltungen etabliert. Sie werden als Visualisierungswerkzeug für raumbezogene Fragestellungen in den Bereichen Stadtplanung und -entwicklung sowie in zahlreichen weiteren Anwendungsfeldern wie z.B. Umwelt, Energie und Infrastruktur eingesetzt. Planungen werden durch die Visualisierung von Varianten und Szenarien greifbarer und Entscheidungsträger sowie Betroffene und Bürger haben die Möglichkeit von Beginn an noch stärker im Prozess zu partizipieren.

3D-Stadtmodelle müssen verschiedenen Anwendungsfeldern genügen und projektabhängig z.B. hinsichtlich der Detailtreue erweitert und aufbereitet werden können. Diese Voraussetzungen stellen hohe Ansprüche an das Datenformat und die Datenstruktur, die möglichst offen, flexibel und kompatibel sein sollte. Die Anforderungen an 3D-Stadtmodelle sind je nach gewünschtem Einsatzzweck unterschiedlich, was für die Bereitstellung eines jederzeit aktuellen Modells zahlreiche Herausforderungen mit sich bringt. Daraus resultiert der Bedarf die permanente Aktualisierung weitgehend aus verwaltungsinternen Daten und alltäglichen Fachabläufen zu organisieren.

Im vorliegenden Beitrag wird berichtet wie in der Sindelfinger Stadtverwaltung eigenständig ein 3D-Stadtmodell aus den vom Tiefbauamt erhobenen Daten zur Berechnung der gesplitteten Abwassergebühr (GESPLITTETE ABWASSERGEBÜHR 2020) entwickelt und seit 2019 flächendeckend fortgeführt wird.



**Abb. 1:**  
Viewer-Darstellung des 3D-Stadtmodells der Stadt Sindelfingen.

## 2 Zusammenfassung des Vortragsinhalts

### 2.1 Anforderungen und Struktur vorliegender Daten (Ausgangssituation)

Die folgenden Kernanforderungen wurden zu Projektbeginn definiert:

- **Aktualität** - die permanente Fortführung muss gesichert sein. Der Wunsch war, dass sich die 3D-Daten nach ihrer ersten Einführung ohne relevanten Mehraufwand fortführen lassen – durch die Nutzung von Synergieeffekten mit im Haus befindlichen Fachdaten.
- **Detailtreue** - je nach Anwendungsfall werden Modelle mit unterschiedlicher Detailtreue benötigt, also mal als LOD1-Modell („Klötzchenmodell“) oder als LOD2 (Klötzchen mit Dachform). Die 3D-Daten sollen also so geführt werden, dass der Nutzer immer die gewünschte Detailtreue wählen kann.

- **Flexibilität** - das Datenformat des 3D-Modells muss für verschiedene Anwendungen geeignet sein. Für Planungszwecke benötigen die technischen Stellen die 3D-Daten in CAD Formaten, gleichzeitig fordert das kommunale WebGIS im Intranet ein Format, das für Visualisierung optimiert ist. Die Haltung der 3D-Daten muss also die benötigten Formate bedienen. Und alle „Gebrauchsformate“ müssen wiederum dieselbe Information führen.

Für die Abrechnung der gesplitteten Abwassergebühr führt das Tiefbauamt der Stadt Sindelfingen detaillierte flächenhafte Gebäudeinformationen in einem Geoinformationssystem (GIS). Da sich die Abwassergebühr nach dem Grad der versiegelten Fläche eines Grundstücks richtet, weißt das System für jedes Grundstück seine verschiedenen Nutzungen mit deren Grad an Versiegelungen nach. Unter diesen vielfältigen Nutzungskategorien finden sich auch Gebäudeflächen, die aus Luftbildern digitalisiert werden und somit durch die Dachüberdeckung repräsentiert werden. Da diese Gebäudedaten ständig digitalisiert werden, bieten sie die ideale Grundlage für die 3D-Gebäudedaten.

## 2.2 (Semi-) Automatische Erstellung von 3D-Gebäuden

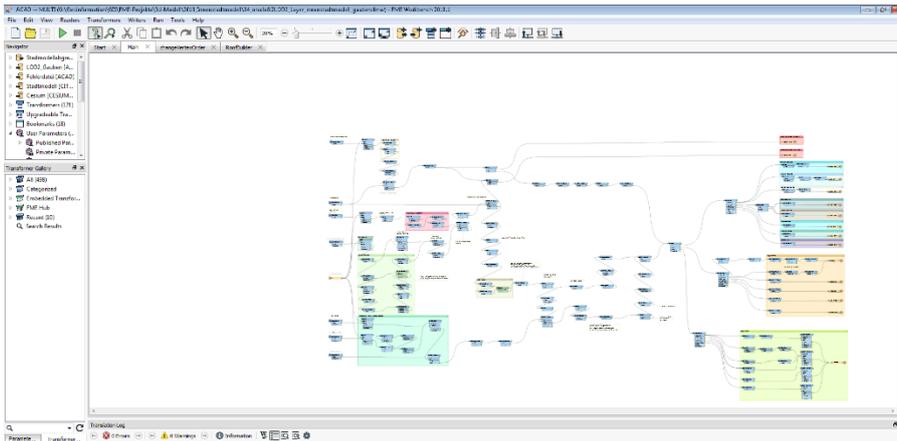
Zuallererst werden anhand eines Luftbilds alle Gebäudeumrisse mit den Dachkanten digitalisiert und dabei jeweils die Dachformen, also entweder Sattel-, Flach-, Walmdach usw., erfasst. In diesem Ausgangszustand sind die Gebäudeformen zwar schon flächenhaft definiert und begrenzt durch die Ausdehnung der Dachflächen, aber noch ohne Höhen und strukturierte Informationen über die Dachform.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die Dachhöhen erfasst. Jeweils eigene Datenverarbeitungsabläufe für Flach- und Satteldächer unterstützen die automatische Höhenermittlung. Für die Ermittlung von Flachdachhöhen werden die Flachdachflächen mit den Höhen aus der Laserscan-Befliegung verschnitten. Für die Satteldachflächen werden anhand von Topologieregeln die gegenseitigen Kantenverhältnisse geprüft und die Kantenarten Giebel, Trauf und Ortgang automatisch zugewiesen. Die Giebel- und Traufhöhen werden anschließend ebenfalls automatisch durch Verschnitt mit den Laserscandaten gewonnen (vgl. Abb. 2). Diese Vorgehensweise erlaubte es, etwa 85% der Dächer richtig zu identifizieren und die Höhe richtig zuzuordnen. Die übrigen Dächer werden händisch nacherfasst.



**Abb. 2:** Ermittlung First und Trauf durch Verschnidung von Laserscannerpunkten und Kanten unter Berücksichtigung von Topologieregeln.

Die Automatisierung der beschriebenen Prozessschritte und die Herstellung der benötigten Ausgabeformate (Cesium, CityGML, DWG) erfolgt über einen FME Workspace (BELLINGHOFF, DAHMEN & HEISIG 2018).



**Abb. 3:** FME Workspace zur Erzeugung des LOD 2-Datenmodells in verschiedene Zielformate.

Eine Datenstruktur aus Knoten und Kanten ist für das beschriebene Konzept zur Erfassung und Haltung von 3D-Gebäudedaten von Vorteil. Sie erlaubt eine unkomplizierte Datenfortführung und schützt weitgehend vor topologischen Fehlern, da sich Flächen nicht überlappen können. Durch die getrennte Modellierung der Gebäude und ihrer Dächer lassen sich problemlos je nach Anwendung Klötzchenmodelle (LOD1) oder die Gebäude mit ihren Dächern (LOD2) bereitstellen. Für den Innenstadtbereich wurden zusätzlich Gauben modelliert.

Die Fortführung des 3D-Stadtmodells wird mit Hilfe der Aktualisierungen aus der gesplitteten Abwassergebühr abgeleitet. Auf Basis der Luftbilder aus 2-jährigen Befliegungen wird der Gebäudebestand überprüft. Die Gebäudehöhen werden anlässlich der amtlichen Gebäudeaufnahme für das Kataster routinemäßig als First- und Traufhöhe in dm-Genauigkeit reflektorlos mitgemessen. Der zusätzliche Zeitaufwand hierfür ist minimal.

## Literatur

- GESPLITTETE ABWASSERGEBÜHR (2/2020), (Quelle: <https://www.sindelfingen.de/start/Wohnen+Bauen/Gesplittete+Abwassergebuehr.html>).
- BELLINGHOFF, M., DAHMEN, C. & HEISIG, C. (2018), FME Desktop - Das deutschsprachige Handbuch für Einsteiger und Anwender, Wichmann Verlag, Berlin, con terra GmbH (Hrsg), 338 Seiten.