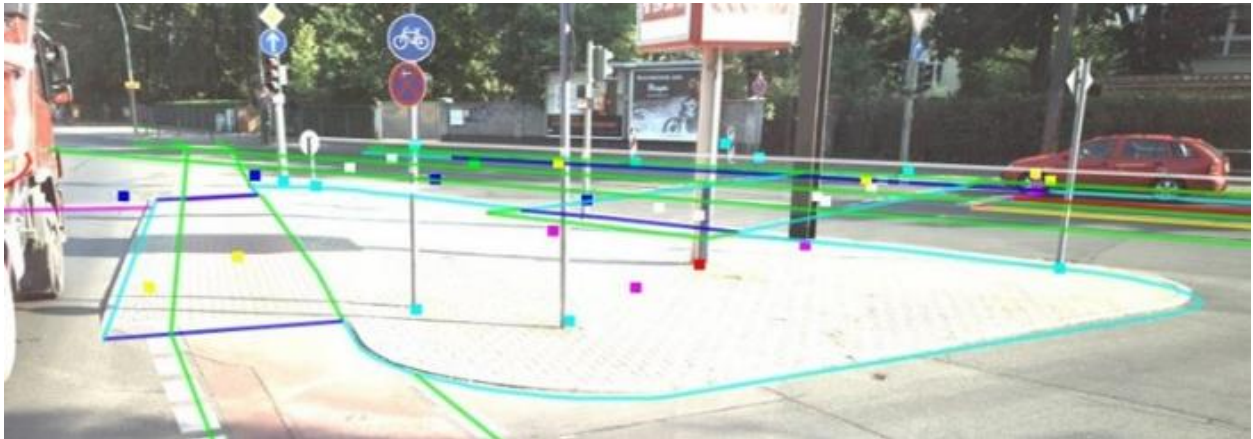


Amtliches 3D-Bild Studienauftrag



Autor: Prof. Dr. Stephan Nebiker

Ort / Datum: Muttenz, 12.2017

Version: V 1.0

Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary	4
2	Einleitung	5
2.1	Ausgangslage und Motivation	5
2.2	Auftrag und Zielsetzung der Studie	6
3	Georeferenziertes 3D-Bild – Grundidee und Vision	7
4	Definitionen	9
5	Stand der Forschung, Technik und Anwendung	10
5.1	Reality Capturing mit Mobile Mapping Systemen	10
5.2	Digital Realities und 3D-Umgebungsmodelle	12
5.3	3D-Bilder versus 3D-Punktwolken	13
6	Georeferenziertes 3D-Bild	15
6.1	Grundsätze	15
6.2	Datenerfassung	16
6.3	Sensorik und Sensorkonfigurationen	17
6.4	Generierung der Tiefeninformation	19
6.4.1	Bildbasierte Tiefenbestimmung	19
6.4.2	Tiefengenerierung aus LiDAR-Daten	20
6.5	Georeferenzierung	21
6.6	Datenspeicherung und -nutzung	22
6.7	Datenaktualisierung und -ergänzung	22
6.8	Qualitätssicherung	23
6.9	Basisfunktionalität von 3D-Bilddaten	24
7	Normierungsvorschläge	27
7.1	Grundsätze	27
7.2	Minimale Festlegungen	27
7.3	REST API für 3D-Bilddienste	29
7.3.1	Klassen und Entitäten	29
7.3.2	Beispiele von API Funktionen	30
7.4	OCG 3D Portrayal Service als mögliche Basis für zukünftige 3D-Bilddienste	32
8	Wirtschaftliche Aspekte	34

8.1	Digitale Realitäten: Schlüsselmärkte und Treiber	34
8.2	Anwendungsmöglichkeiten und –beispiele	35
8.3	Nutzen	38
8.4	Wirtschaftlichkeit	39
9	Organisatorische Aspekte	40
9.1	Prozesse und Rollen	40
9.2	Akteure	41
9.3	Denkbare Betriebsmodelle	41
9.4	Die Amtliche Vermessung und das 3D-Bild	42
9.5	Rechtliche Aspekte	43
9.6	Umsetzung	44
10	Beurteilung, Chancen, Risiken etc.	45
11	Literatur	47

1 Executive Summary

Diese Studie im Auftrag der Strategieguppe Amtliche Vermessung der Swisstopo und der CadastreSuisse soll das Potential eines neuen Datentyps «3D-Bild» und von darauf aufbauenden Geodiensten für die Amtliche Vermessung im Speziellen sowie die Geoinformationsbranche und die Gesellschaft im Allgemeinen aufzeigen. Die Studie bietet eine umfassende Ausleageordnung und eine fundierte Übersicht zur Thematik mit strategischen Anwendungspotentialen, Handlungsoptionen und Empfehlungen. Die Studie zeigt auf, dass die Hauptherausforderungen vor allem strategischer, wirtschaftlicher und politischer Art sind und dass die technische Machbarkeit bereits heute gegeben ist. Entsprechend liegt der Fokus auf der Beantwortung strategischer Fragen und auf dem Aufzeigen von Umsetzungsoptionen. Mit einem Normierungsvorschlag auf der Basis einer REST Schnittstelle wird ein möglicher Weg aufgezeigt.

Das «Reality Capturing», d.h. die detaillierte, genaue und realitätsgetreue Erfassung der urbanen und ländlichen Umgebung, und die Schaffung cloudbasierter «Digitaler Realitäten» sind seit Kurzem im grossen Stil technologisch möglich. Die Entwicklung von Technologien und Services zum Aufbau und zur Nutzung digitaler Realitäten wird von Herstellern und Dienstleistern aktiv forciert und in zahlreichen Anwendungsbereichen rasch adaptiert.

Zu den Schlüsselmärkten für digitale Realitäten gehören die Fahrzeugnavigation und das zukünftige autonome Fahren. Grosse Automobilkonzerne und Internetgiganten arbeiten mit einem gewaltigen Effort an der Realisierung globaler, detailreicher 3D-Karten auf der Basis mobil erfasster Geodaten – allerdings mit einem Fokus auf «3D-Karten für Maschinen». Die weiteren und für diese Studie besonders relevanten Schlüsselmärkte für digitale Realitäten sind das Management und der Werterhalt in den Bereichen öffentliche Infrastruktur und Gebäude.

Im Zentrum dieser Studie steht das «3D-Bild» als besonders vielversprechende Realisierungsmöglichkeit für digitalen Realitäten. In einem ersten Teil wird die Grundidee eines georeferenzierten 3D-Bilds vorgestellt (Kap. 3) und ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und der Technik gegeben (Kap. 5). Im zweiten Teil werden wichtige konzeptionelle und technische Aspekte zur Erfassung, Georeferenzierung, Speicherung und Nutzung von 3D-Bilddaten behandelt (Kap. 6) sowie konkrete Normierungsvorschläge für deren Nutzung präsentiert (Kap. 7). Im dritten Teil werden die wirtschaftlichen Aspekte: Märkte, Anwendungen, Nutzen und Wirtschaftlichkeit (Kap. 8) sowie organisatorische Aspekte wie mögliche Prozesse, Rollen und Betriebsmodelle sowie rechtliche Fragen erörtert (Kap. 9). In einem abschliessenden Kapitel werden die Relevanz der Thematik sowie die Chancen und Risiken für die Geomatikbranche insgesamt und die Amtliche Vermessung im Speziellen diskutiert.

Die Studie zeigt, dass ein Datentyp «3D-Bild» und darauf aufbauende 3D-Bilddienste gut geeignet sind, um eine einfach und sehr breit nutzbare digitale Realität für zahlreiche Anwendungsbereiche aufzubauen und zu betreiben. 3D-Bilddienste sind technisch machbar, führen zu einer deutlichen Steigerung in der Produktivität und zu einem eigentlichen Paradigmenwechsel – bedingt durch die Verlagerung von Feldarbeiten durch Vermessungsfachleute an den PC-Arbeitsplatz der unterschiedlichen Fachspezialistinnen und –spezialisten. Erfahrungen mit bereits realisierten 3D-Bilddiensten zeigen Kosteneinsparungen in der Grössenordnung von 30-60% und Zeiteinsparungen von bis zu 70%. Hinzu kommt eine deutliche Verbesserung der Arbeitssicherheit durch das Wegfallen von Vermessungsarbeiten im Fahrbahnbereich.

Wie die Studie aufzeigt, sind bereits heute zahlreiche konkrete Anwendungen von 3D-Bilddiensten im Aussenraum realisiert. Ein besonderes Potential dürften zukünftige Anwendungen im Innenbereich haben, wie etwa die Baufortschrittsdokumentation, das Facility Management oder die Dokumentation von 3D-Grundeigentum. Die Zukunftsfähigkeit von 3D-Bilddiensten wird

durch aktuelle Entwicklungen und Trends in der Forschung unterstrichen: so ist etwa zu erwarten, dass diese eine rein bildbasierte exakte Lokalisierung und vor allem auch Orientierung von Smartphones etc. ermöglichen werden. Damit dürften georeferenzierte 3D-Bilder die Geodatenbasis für völlig neue Anwendungen etwa im Bereich Augmented Reality schaffen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Entwicklung cloud-basierter Geoinformationslösungen und georeferenzierter 3D-Bilddienste in vollem Gang ist und mit oder ohne Akteure aus der Geomatik oder der Amtlichen Vermessung stattfinden wird. Aufgrund ihrer Alleinstellungsmerkmale wie Qualitätsverständnis, Erfahrung im Betrieb interoperabler und nachhaltiger Geodateninfrastrukturen und des Potentials zur Realisierung eigener neuer Anwendungen überwiegen die Chancen für ein aktives Engagement der Geomatikbranche die Risiken des Abwartens oder Abseitsstehens bei weitem.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage und Motivation

Amtliche Vermessung als Pionierin der Digitalisierung

Rückblickend darf der Amtlichen Vermessung eine Pionierrolle in der Digitalisierung des Raums zugesprochen werden. Mit der Revision der Amtlichen Vermessung (RAV) Anfang der 1990er-Jahre und der daraus resultierenden Amtlichen Vermessung 93 (AV93) wurde eine zukunftsorientierte und nachhaltige Basis für einen digitalen Grundbuchplan und für ein kontinuierlich gewachsenes Spektrum an nationalen und kantonalen digitalen Geodatenätzen geschaffen. Dank der Amtlichen Vermessungs-Schnittstelle und der Modellierungssprache Interlis können diese heute routinemässig ausgetauscht und genutzt werden. Die AV93, das darauf aufbauende Datenmodell (DM) und die Datenaustauschschnittstelle (AVS) beruhen auf fortschrittlichen Grundsätzen wie Methodenfreiheit, modellbasierte Datenmodellierung und Datenaustausch sowie Erweiterbarkeit. Die Datentypen des ursprünglichen Datenmodells beruhen jedoch auf dem damaligen Stand der Technik in der Datenerfassung, Datenverarbeitung und -nutzung.

Bei der Schaffung der AV93 und des damaligen DM standen nur **einzelpunktbasierte Messverfahren**, namentlich Tachymetrie und GPS, mit der erforderlichen Genauigkeit für die Toleranzstufen TS1-TS3 zur Verfügung. Die photogrammetrischen Auswertungen waren auf die TS4 und TS5 beschränkt und basierten ebenfalls auf der interaktiven Erfassung von Punkten, Linien und Flächen. Dementsprechend beruht das Datenmodell der Amtlichen Vermessung bis heute fast ausschliesslich auf dem **vektoriellen Datenmodell**. Das vektorielle Datenmodell ist zwar sehr mächtig und elegant, wenn es um die Beschreibung exakt definierter Phänomene wie etwas Fixpunkte oder Liegenschaften geht. Das Modell ist jedoch aufwändig in der Erfassung und Nachführung ist nicht geeignet zur grossflächigen detailgetreuen Abbildung der realen Umwelt, die heute unter dem Schlagwort «Digital Reality» rasch an Bedeutung gewinnt.

Rasanter Technologischer Wandel

Seit den 1990ern durchlaufen die Geomatik und die Geoinformationstechnologien einen enormen Wandel. So sind damals noch undenkbar Methoden und Technologien heute eine Realität. Exemplarisch dafür sind die Etablierung von Satellitenpositionierung als Alltagstechnologie u.a. in Uhren, die rasche Verbreitung von Drohnen für Vermessungs- und Fernerkundungszwecke sowie Smartphones als Hochleistungs-Multisensorsysteme inkl. leistungsfähiger Kameras, die permanent mit Informationssystemen in der Cloud verbunden sind.

Gebiete wie die Photogrammetrie haben sich über die letzten 20 Jahre radikal verändert und sind – abgesehen von den theoretischen Grundlagen – kaum wieder zu erkennen. So haben

sich bildbasierte und LiDAR-basierte Erfassungsverfahren zu hoch genauen und extrem effizienten 3D-Datenerfassungslösungen entwickelt. So ermöglichen heutige bildbasierte und LiDAR-basierte Verfahren die hoch genaue und extrem effiziente Erfassung von Millionen von 3D-Punkten oder 3D-Pixel pro Sekunde. Treiber für diesen Wandel sind gewaltige Entwicklungen in den Bereichen Sensorik, Algorithmik, Rechenleistung, Miniaturisierung, Datenspeicherung und Datenübertragung.

Neben diesen technologischen Fortschritten sind aber auch **wirtschaftliche Faktoren und politische Rahmenbedingungen** wesentliche Treiber der Geoinformationswirtschaft. Stichworte sind hier: stagnierende oder sinkende finanzielle Mittel der öffentlichen Hand, hohe Lohnkosten sowie knappe personelle Ressourcen, steigende Dichte und Komplexität der bebauten Umwelt bei gleichzeitig steigenden Anforderungen. Diese erfordern zum einen ein Überdenken der bisherigen Erfassungs- und Nachführungsmethoden, der Prozesse sowie der zugrundeliegenden Datenmodelle und Objektkataloge. Zum andern bieten neue Technologien auch die Möglichkeit, neue Angebote zu schaffen und damit auch neue Kundenbedürfnisse zu wecken und zu befriedigen.

Georeferenzierte 3D-Bilddienste – eine Realität

Ein besonders grosses Potential zur raschen, kosteneffizienten, detaillierten, dreidimensionalen und gleichzeitig genauen Erfassung und Nachführung von Rauminformation bieten heute entweder LiDAR- oder bildbasierte kinematische Erfassungsmethoden. Daraus resultierende 3D-Bilddaten und darauf aufbauende georeferenzierte 3D-Bilddienste haben das Potential für einen eigentlichen **Quantensprung in der Gewinnung, Nutzung und Nachführung von 3D-Geodaten** – auch in der Amtlichen Vermessung. Sie sind anwendungsneutral, bieten eine konkurrenzlos einfache Nutzung, ermöglichen eine deutliche Effizienzsteigerung bei vielen bisherigen Aufgabenstellungen und erschliessen ein breites Spektrum an neuen Anwendungsbereichen.

3D-Bilddaten und georeferenzierte 3D-Bilddienste sind nicht nur eine Vision sondern eine Realität – insbesondere in der Schweiz. So haben mittlerweile zahlreiche Kommunen und Kantone (z.B. AG, BS, BL, TG, GR, GL) georeferenzierte 3D-Bilddienste realisiert und im täglichen Betrieb. Zudem haben erste Kantone wie etwa BS oder BL georeferenzierte 3D-Bilddienste in ihrer kantonalen Geoinformationsgesetzgebung als **Geobasisdatensätze** verankert (*Kantonale Verordnung über Geoinformation (KGeoIV, 211.58)*, 2016, *Verordnung über die amtliche Vermessung (VOAV, 214.320)*, 2014).

Amtliche Vermessung Quo Vadis?

Die Amtliche Vermessung spielt in der Schweiz seit über 100 Jahren eine zentrale Rolle bei der Erfassung und Nachführung wichtiger Geobasisdaten. Mit der Revision der Amtlichen Vermessung und der AV93 erfolgte frühzeitig der Einstieg in das digitale Zeitalter. Die rapiden technologischen Entwicklungen der letzten Jahre bieten nun völlig neue Möglichkeiten und kommerzielle Geoinformationsdienste wie etwa Google Street View oder HERE Maps wecken bei den Anwenderinnen und Anwendern neue Erwartungen. Neue cloud-basierte 3D-Geoinformationsdienste sind bereits eine Tatsache und werden sich insbesondere im Bereich Verkehr und Infrastruktur rasch etablieren. Für die Amtliche Vermessung stellt sich die Frage, ob sie ihr Datenmodell, ihre Datensätze und ihre Prozesse den neuen technischen Möglichkeiten öffnen und damit das Potential dieser neuen Technologien nutzen und mitgestalten will.

2.2 Auftrag und Zielsetzung der Studie

Basierend auf dem «Cahier des charges pour une étude de la variante "3D Bild-Punktwolke"» der Groupe de travail "Stratégie" du projet Nouveau modèle de données de la MO: MD.xx soll in

dieser Studie die mögliche Erweiterung des AV-Datenmodells um einen neuen Datentyp "3D-Bild-Punktwolke" untersucht werden. Gemäss Cahier de charges soll die Studie die folgenden Hauptaspekte umfassen:

- Technische Aspekte (Datenerfassung / -generierung, -verwaltung und -nutzung; mögliche Standards und Formate etc.)
- Organisatorische Aspekte (Zuständigkeiten, Aktualisierung / Nachführung, mögliche Priorisierung / Etappierung etc.)
- Wirtschaftliche Aspekte (Nutzen / Anwendungsmöglichkeiten, Kosteneinsparungen, Ersatz bestehender Produkte? etc.)
- Zu erwartende Auswirkungen auf die Geomatik- und Geometer-Profession in der Schweiz (Chancen, Risiken etc.)

3 Georeferenziertes 3D-Bild – Grundidee und Vision

Grundprinzip

Ein georeferenziertes 3D-Bild ist ein perspektivisches Messbild mit bekanntem Aufnahmeort und Aufnahme­richtung, wobei jedem Pixel eine Distanz­information hinterlegt ist (siehe Abbildung 1). Ein 3D-Bild soll so einfach interpretierbar und nutzbar sein wie ein 2D-Bild, z.B. ein Orthophoto. Ein georeferenziertes 3D-Bild ermöglicht relative und absolute 3D-Messungen, die 3D-Digitalisierung sowie die Überlagerung und Visualisierung bereits vorhandener 2D- und 3D-Geodaten. Zudem ist es kombinierbar mit bestehenden 2D- und 3D-Geodaten und integrierbar in bestehende Geoinformationstechnologien und -infrastrukturen.

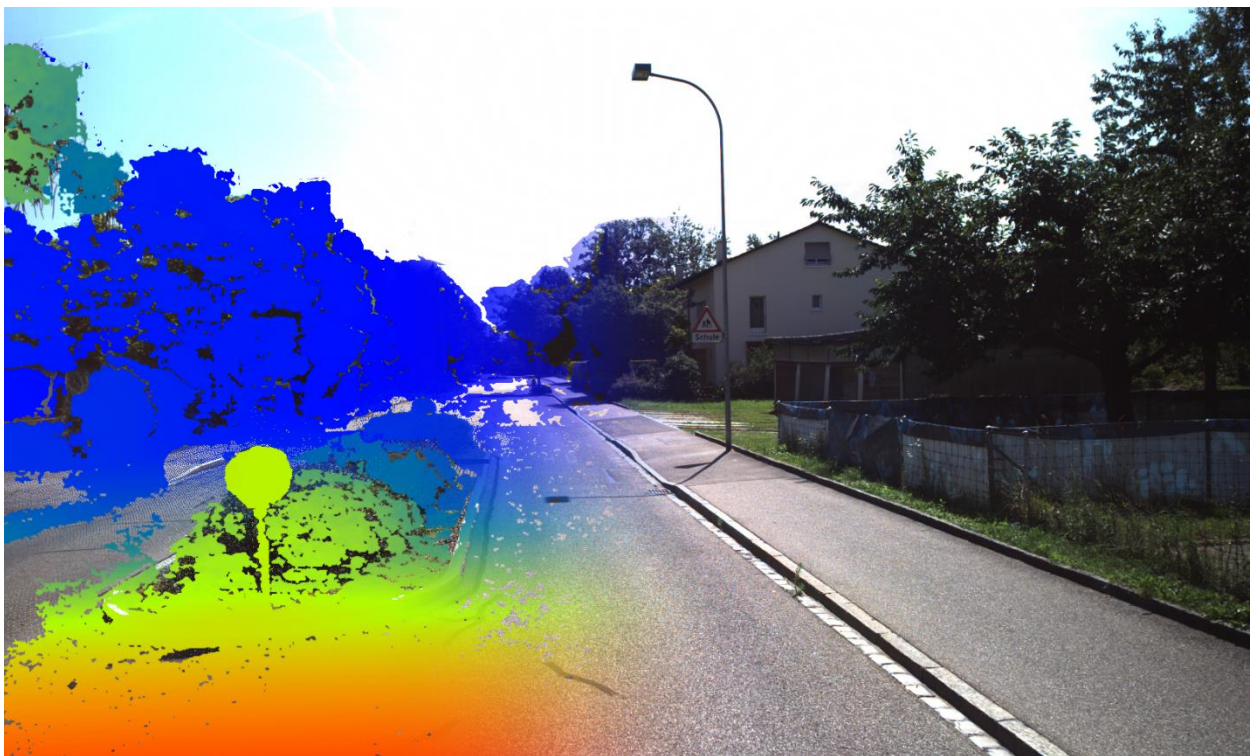


Abbildung 1: Illustration des Prinzips eines georeferenzierten 3D-Bilds mit RGB-Farbbild (rechts) und überlagerter farbcodierter Tiefeninformation (links) (Farbverlauf von rot = nah bis dunkelblau = fern).

Zentrale Eigenschaften

Die folgenden zentralen Eigenschaften eines neuen Datentyps «georeferenzierte 3D-Bild» sollen einen hohen Nutzen gewährleisten und dessen Zukunftsfähigkeit sicherstellen:

- Vollständig **dreidimensional, realitätstreu, detailreich, genau, kosteneffizient und hoch automatisiert erfassbar und nachführbar**.
- **Anwendungsneutralität** – Der neue Datentyp soll ähnlich wie ein Orthophoto oder ein digitales Höhenmodell unabhängig von einer spezifischen Anwendung nutzbar sein.
- Die **Methodenfreiheit** bei der Erfassung, Generierung und Nutzung von 3D-Bilddaten soll gewährleistet sein. Dazu gehört auch die technologie-unabhängige Bestimmung der Tiefeninformation (z.B. mittels Dense Image Matching, LiDAR, Range Imaging etc.).
- **Unabhängigkeit von Erfassungsperspektive und Erfassungsplattform** – Die Erfassung von 3D-Bilddaten soll sowohl terrestrisch als auch aus der Luft möglich sein. Aufnahmen können grundsätzlich horizontal, schräg bzw. oblique als auch senkrecht erfolgen.
- 3D-Bilddaten sind sowohl für Aufgaben im **Aussenraum** als auch im **Innenraum** nutzbar.
- 3D-Bilddaten sollen **massstabs- bzw. auflösungsunabhängig** eingesetzt werden können.
- 3D-Bilddaten sollen die zentrale Forderung von **WYSYWIG** (what you see is what you get) erfüllen, d.h. die Bildinformation und die Tiefeninformation müssen zeitlich und räumlich kohärent sein. So sollen sichtbare Objekte im Bild (z.B. bewegliche Hindernisse) auch an derselben Stelle in der Tiefenkarte erscheinen, um grobe Fehlmessungen zu vermeiden.

Warum ein 3D-Bild?

Ein 3D-Bild und eine (texturierte) 3D-Punktwolke sind weitgehend duale Konzepte, d.h. ein 3D-Bild kann aus einem Bild und einer co-registrierten Punktwolke abgeleitet werden, im Gegenzug kann ein 3D-Bild in eine texturierte Punktwolke konvertiert werden.

Die folgenden Punkte sprechen jedoch für das **3D-Bild als prioritären Datentyp** (für eine ausführliche Diskussion wird auf Kap. 6 verwiesen):

- Die menschliche Wahrnehmung basiert auf Bildern und nicht auf Punktwolken. Damit sind Bilder ohne spezifisches Training sehr einfach interpretier- und nutzbar.
- Moderne Bildsensoren ermöglichen eine realitätsgetreue Abbildung unserer Umgebung mit einer enormen geometrischen und radiometrischen Informationsfülle. Das Sprichwort «Ein Bild sagt mehr als Tausend Worte» hat auch hier seine Gültigkeit.
- Die freie Navigation in Punktwolken ist für geübte Expertinnen und Experten ein sehr mächtiges Instrument – sie überfordert jedoch den Grossteil von Gelegenheits-Nutzenden.
- 3D-Bilder zeigen immer nur die vom Aufnahmeort sichtbaren Objekte – dies im Gegensatz zu Punktwolken, welche auch verdeckte oder etwa rückseitige Informationen darstellen.
- Bei der Vergrößerung von Bilddaten mag die Bildinformation unscharf werden, aber der räumliche Kontext bleibt bis in hohe Zoomstufen erhalten – dies im Gegensatz zu Punktwolken, wo der Kontext durch die Vereinzelung der Punktinformation rasch verloren geht.

4 Definitionen

Dense Image Matching (DIM)	Das Dense Image Matching (dt. dichte Bildzuordnung) bezweckt die dichte Rekonstruktion der 3D-Objektgeometrie aus Stereobildern durch die pixelbasierte Bildzuordnung. Im Nadir-Luftbildfall werden mit DIM digitale Oberflächenmodelle (DOM) extrahiert. Im allgemeinen Stereomatching-Fall wird mit DIM die Bestimmung des Objektabstands bzw. der Tiefeninformation jedes Pixel angestrebt.
Tiefenkarte	Die Tiefenkarte enthält für jedes Pixel den Abstand des Kamera-Projektionszentrums zum entsprechenden Objektpunkt. Das duale Konzept zum Tiefenwert ist der Parallaxwert. Dieser drückt den Objektabstand bei bekannter Stereobasis als y -Parallaxe zwischen zwei homologen Punkten im Stereopaar aus.
RGB-D Bild	Vierkanaliges Messbild mit co-registrierter Farbinformation (RGB = Rot-Grün-Blau) und Tiefeninformation (D = depth).
3D-Bild	Messbild mit co-registrierter radiometrischer und Tiefeninformation, wobei sowohl die Anzahl der Bildkanäle als auch die Spektralbereiche nicht eingeschränkt sind und von panchromatischen, RGB über multispektralen Bilddaten bis hin zu Thermaldaten reichen können.
Kameramodell	Mathematisches Modell zur Beschreibung der Abbildung zwischen Objektpunkt und Bildpunkt. Ein Kameramodell ist in der Regel nur für einen bestimmten Typus von Kameraoptik gültig. Das weit verbreitete Lochkameramodell ist beispielsweise für Objektive mit Öffnungswinkeln bis ca. 90° geeignet.
Innere Orientierung	Parameter zur Beschreibung des mathematischen und physikalischen Kameramodells. Diese umfassen im allgemeinen Fall die Kamerakonstante bzw. Kamerabrennweite, die Pixelgröße, die Lage des Bildhauptpunkts sowie Parameter der Objektivverzeichnung (Verzeichnungsparameter).
Verzeichnungsbereinigtes Bild	Bei einem verzeichnungsbereinigten Bild, oft als Normbild bezeichnet, sind die mittels einer Kalibrierung bestimmten Bildverzeichnungen korrigiert sowie die Lage des Bildhauptpunkts auf den Bildmittelpunkt korrigiert. Oft sind verzeichnungsbereinigte Bilder zusätzlich auf eine einheitliche nominale Brennweite umgerechnet. Damit reduzieren sich die Parameter der Inneren Orientierung bei einem verzeichnungsbereinigten Bild auf die Kamerakonstante und die Pixelgröße.
Äussere Orientierung	Die Parameter der Äusseren Orientierung legen die Lage und Orientierung einer Messkamera im Raum fest. Sie beschreiben die Position des Projektionszentrums sowie die Orientierung des Kamerakoordinatensystems. Letztere wird wahlweise in der Form von Euler'schen Drehwinkeln, Quaternionen oder als Rotationskoeffizienten einer Projektionsmatrix beschrieben.

LiDAR	LiDAR steht für Light Detection and Ranging und wird als Synonym für Laserscanning verwendet. LiDAR ist ein aktives Messverfahren, welches die direkte 3D-Punktbestimmung über eine laserbasierte Distanzmessung und eine synchrone Richtungsbestimmung der Lasermessung erlaubt.
Range Imaging	Range Imaging (RIM) erlaubt die synchrone Erfassung von Bild- und Tiefeninformation auf der Basis unterschiedlicher Messprinzipien. Zur Zeit wird die Tiefeninformation beispielsweise über Laufzeitmessung (Time-of-Flight) oder über Triangulationsverfahren gewonnen. Bei den Triangulationsverfahren werden beispielsweise Muster in nicht sichtbaren Spektralbereichen projiziert und geometrisch ausgewertet.

5 Stand der Forschung, Technik und Anwendung

5.1 Reality Capturing mit Mobile Mapping Systemen

Die grossräumige Erfassung digitaler Realitäten erfordert zwingend eine kinematische Datenerfassung. Erste prototypische mobile 3D-Datenerfassungssysteme, oft als Mobile Mapping Systems (MSS) bezeichnet, wurden in den späten 1980er- und den frühen 1990er-Jahren entwickelt (Novak, 1991; Schwarz et al., 1993). Diese ersten Systeme waren noch ausschliesslich bildbasiert und verfügten nur über ein nach vorne gerichtetes Stereo-Kamerasystem. Zudem erlaubten die damaligen technischen Möglichkeiten noch keine automatische 3D-Extraktion. Mit der Einführung von Laserscannern und der Etablierung von Inertialnavigationssystemen dominierten ab Beginn des neuen Jahrtausends mobile LiDAR-Systeme den Mobile Mapping Markt. Diese wurden von den ursprünglichen einfachen Profilsclannern, zu Lösungen mit mehreren Profilsclannern (vgl. Abbildung 2) bis zu kompakten Multi-Beam-Scannern mit 16 bis zu 64 simultan abgetasteten LiDAR-Beams weiter entwickelt. Diese Multi-Beam-Scanner kommen heute in der Robotik, in autonomen Fahrzeugen und in portablen Mobile Mapping Systemen zum Einsatz (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7).

Massive Fortschritte in den Bereichen Bildsensorik, photogrammetrische Algorithmen und Cloud Computing haben nun zu einem Comeback von bildbasiertem Mobile Mapping geführt. Dieses Comeback wurde sicherlich auch durch populäre Bilddienste wie Google Street View beflügelt (Anguelov et al., 2010). Erste systematische Untersuchungen zur 3D-Kartierung mit Mobile Mapping Systemen mit moderner Stereobildsensorik und zu deren Genauigkeitspotential wurden von Burkhard et al. (2012) am Institut Vermessung und Geoinformation der FHNW durchgeführt. Dabei zeigten die Autoren bereits damals eine relative 3D-Messgenauigkeit von ca. 1 cm und eine absolute 3D-Positionsgenauigkeit von 3-5 cm auf. Neuere Forschungsarbeiten versuchen, das eingeschränkte Gesichtsfeld eines einzelnen Stereosystems möglichst auf 360° zu erweitern. Lösungsansätze sind einerseits die Integration mehrerer Stereosysteme (Earthmine, 2014; Cavegn & Haala, 2016; Meiland et al., 2015; Blaser et al., 2017) oder hybride Konfigurationen bestehend aus Kameras und LiDAR-Sensoren (Paparoditis et al., 2012). Kommerzielle bildbasierte Mobile Mapping Systeme setzen zur Zeit auf Multi-Stereosysteme mit vertikalen Basen, wie im Falle des Earthmine Mars Collection Systems in Abbildung 4 (Earthmine, 2014), oder auf horizontal angeordnete Multi-Stereosysteme (Nebiker & Eugster, 2013) bzw. auf neue Stereo-Panorama-Konfigurationen wie in Abbildung 5 (Blaser et al., 2017). Letztere vermag auch den Bundesgerichtsentscheid gegen Google Street View (BGE 138 II 346) zu erfüllen, welcher Bildaufnahmen von Privatbereichen auf eine Höhe von max. 2 m über Grund beschränkt.

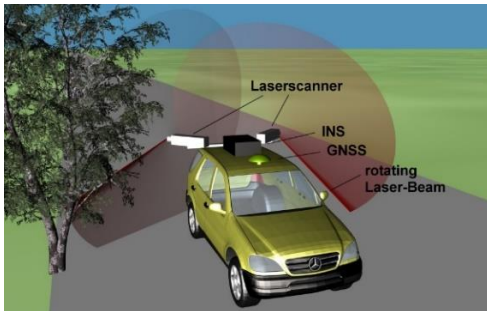


Abbildung 2: Messprinzip mobiles Laserscanning mit zwei verschwenkten 360° Laserscannern

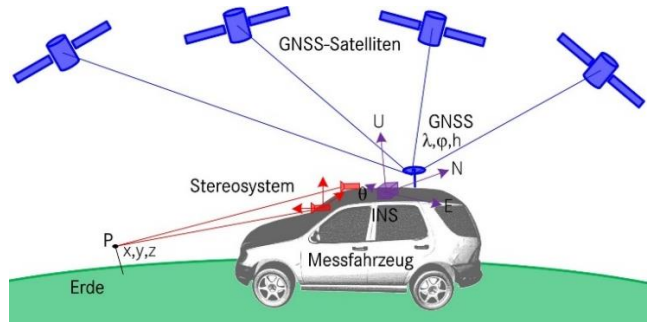


Abbildung 3: Messprinzip mobile 3D-Stereobilddatenerfassung mit direkter Georeferenzierung

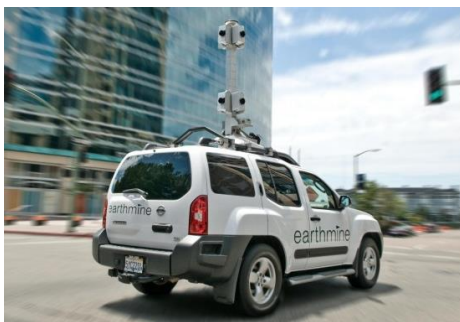


Abbildung 4: earthmine Mars Collection System mit vertikaler Stereobasis



Abbildung 5: 360° Stereo-Panoramakamerasystem der FHNW mit horizontalen Stereobasen (Blaser et al., 2017)

Mit Fortschritten in der Miniaturisierung von Positionierungs- und Umgebungssensorik und dem steigenden Bedarf nach der Digitalisierung von Gebäudedaten gewinnen Indoor Mobile Mapping Systeme rasch an Bedeutung. Auch hier kommen sowohl LiDAR- als auch Kombinationen von LiDAR- und bildbasierter Sensorik zum Einsatz. Einen guten Überblick über den aktuellen Forschungsstand im Bereich 3D Indoor Scanning geben Lehtola et al. (2017). Zur Zeit sind eine ganze Reihe an portablen oder rucksackgetragenen Systeme in Entwicklung (z.B. Projekt BIMAGE am IVGI der FHNW, vgl. Abbildung 7) oder bereits kommerziell erhältlich (Hexagon Geosystems, 2017, vgl. Abbildung 6).



Abbildung 6: Leica Pegasus-Backpack mit fünf Bildsensoren und zwei Multi-Beam-LiDAR-Sensoren (Velodyne VLP16)

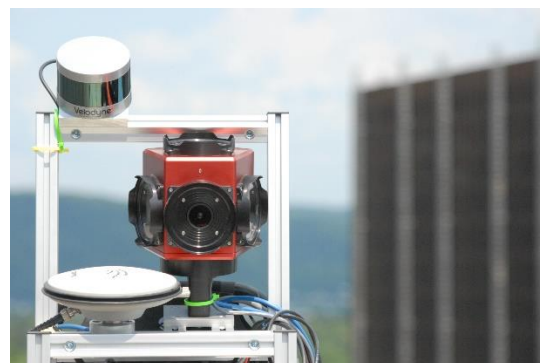


Abbildung 7: Portables Mobile Mapping System BIMAGE CapturePro (KTI-Projekt BIMAGE) mit einem Multi-Beam-Scanner Velodyne VLP16 und einer Ladybug Panorama-Kamera.

5.2 Digital Realities und 3D-Umgebungsmodelle

Zur dreidimensionalen digitalen Repräsentation der natürlichen und bebauten Umwelt existieren unterschiedliche Modelle, welche die Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung eines breiten Spektrums an Daten und Prozessen ermöglichen sollen. Aufgrund der enormen Vielfalt an raumbezogenen Prozessen und Anwendungen existiert kein Modell, welches alle Anforderungen erfüllen kann. Obwohl bis heute keine international akzeptierte Taxonomie von 3D-Datenmodellen existiert, so können doch drei Grundtypen unterschieden werden: explizite geometrische Modelle, Bild-basierte Modelle und Punktwolken-basierte Modelle (Nebiker et al., 2010 & 2015). Bild-basierte und Punktwolken-basierte Modelle können auch als 'native' Modelle betrachtet werden, welche ohne komplexe Modellableitungen als 3D-Datensätze genutzt werden können. Dies im Gegensatz zu den expliziten geometrischen 3D-Modellen, die zuerst aus einem der nativen Modelle 'abgeleitet' werden müssen und somit als 'rekonstruierte' Modelle betrachtet werden können.

Zwar wurden bei der automatischen Ableitung expliziter geometrischer 3D-Modelle aus luft- und bodengestützten LiDAR- und Bildaufnahmen in den letzten paar Jahren enorme Fortschritte erzielt (vgl. z.B. Musialski et al., 2013). Dennoch bleibt die Rekonstruktion von expliziter 3D-Geometrie aus Bild- oder LiDAR-Daten ein komplexes und schwach konditioniertes Problem. Zu dessen erfolgreicher Lösung sind in vielen Fällen Modellannahmen oder Vereinfachungen erforderlich, welche zu einem (gewollten oder ungewollten) Informationsverlust führen. Zudem werden bei der Ableitung expliziter Geometrie unweigerlich gewisse Annahmen über den Detaillierungsgrad, über die Art und Dimension der zu modellierenden Objekte und damit auch über das zukünftige Anwendungsspektrum der Modelle getroffen. Der erwähnte Informationsverlust führt auch zu einem Genauigkeitsverlust gegenüber den originären Daten, aus welchen das explizite Modell abgeleitet wurde.

Dichte Punktwolken mit radiometrisch und allenfalls weiteren Attributen können ebenfalls als eigenständige 3D-Modelle bzw. vollwertige 3D-Stadtmodelle dienen. Die Einsatzmöglichkeiten solcher «Rich Point Clouds», deren Stärken und Schwächen werden in Nebiker et al. (2010) ausführlich diskutiert. Zu den Vorteilen von 3D-Punktwolken gehören die rasche, robuste und effiziente Erfassung mittels luftgestütztem, statischem terrestrischem oder mobilem Laserscannings sowie ein grosses Spektrum an Betrachtungs- und Auswertemöglichkeiten für professionelle Anwenderinnen und Anwender (Nebiker et al., 2010). Zu den Nachteilen gehören sehr hohe Ansprüche beim Handling sowie bei der Interpretation von Punktwolken. Dies gilt insbesondere bei komplexen Objekten mit verdeckten Oberflächen, die von mehreren Seiten gescannt wurden. Neben 3D-Punktwolken stellen Bild-basierte Modelle den zweiten nativen Datentyp dar. Weil mit nativen Datentypen in der Regel keine vollständige 3D-Rekonstruktion von Objekten angestrebt wird, ist deren Erzeugung deutlich robuster und weniger komplex, was einen sehr hohen Automatisierungsgrad ermöglicht (Nebiker et al., 2015). Hochaufgelöste, detailgetreue native Modelle bzw. «digitale Realitäten» ganzer Städte oder Regionen – sowohl in Punkt- als auch in Bildform – erfordern jedoch enorme Datenmengen. Die gewaltigen Fortschritte über die letzten Jahre in Netzwerkbandbreiten, in Cloud-basierter Rechenleistung und Speicherkapazitäten, haben solch native 3D-Modelle und damit verbundene Forschung und Entwicklung überhaupt erst möglich gemacht.

5.3 3D-Bilder versus 3D-Punktwolken

Für das «Reality Capturing», also die hoch aufgelöste, detailgetreue dreidimensionale Abbildung der Realität, bieten sich heute texturierte 3D-Punktwolken oder eben 3D-Bilder an, die im Zentrum dieser Studie stehen. Vor der Fokussierung auf 3D-Bilder mit deren technologischen Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten erfolgt an dieser Stelle eine kurze Gegenüberstellung von Punktwolke und 3D-Bild.

Ein 3D-Bild und eine 3D-Punktwolke sind grundsätzlich duale Konzepte, was auch in Abbildung 8 illustriert wird. Das heisst, dass aus einem 3D-Bild, bestehend aus der Bildinformation (links) und der Tiefenkarte (Mitte) immer eine 3D-Punktwolke (rechts) abgeleitet werden kann. Umgekehrt kann aus einer 3D-Punktwolke (rechts) für eine vorgegebene Bildgeometrie (links) die entsprechende Tiefenkarte (Mitte) berechnet werden.

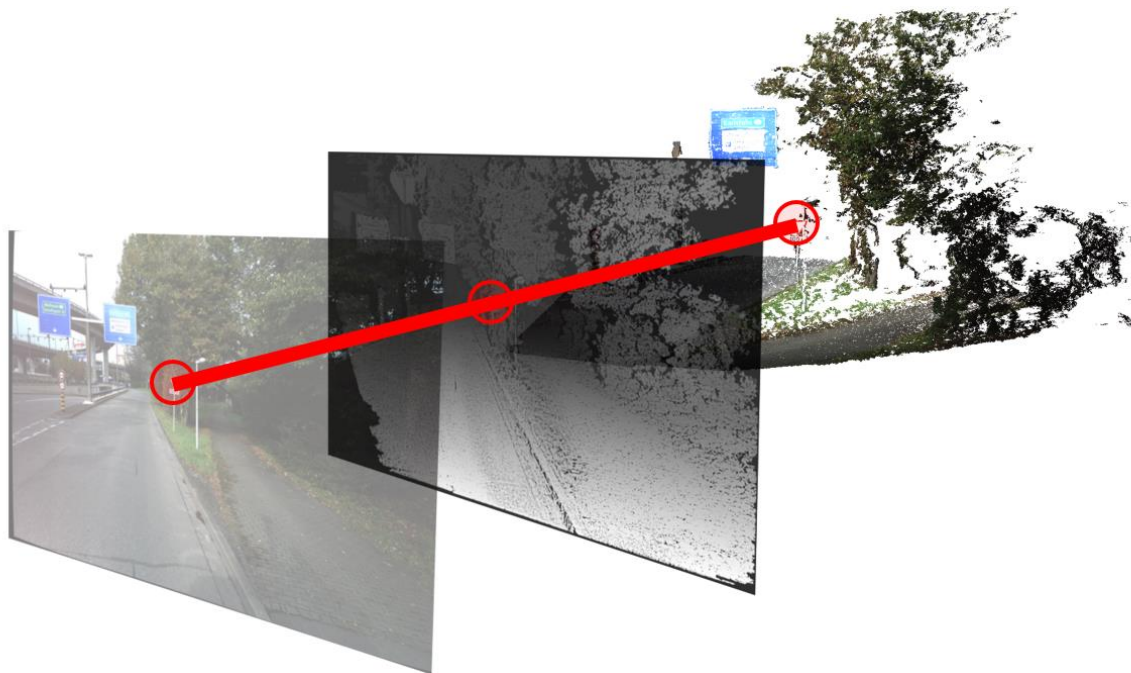


Abbildung 8: Dualität zwischen 3D-Bild und texturierter 3D-Punktwolke: georeferenziertes 3D-Bild, bestehend aus Farbbild (links) und co-registrierter Tiefeninformation (mitte), sowie texturierte Punktwolke (rechts)

Die folgende Tabelle zeigt die Vor- und Nachteile der beiden Datentypen auf. Zu den gemeinsamen Merkmalen und Stärken gehören:

- flexible Aufnahmekonfigurationen: portabel (z.B. Messrucksack), fahrzeuggestützt, luftgestützt und evtl. auch UAV-basiert
- kinematische Erfassung mit sehr hoher Leistungsfähigkeit

3D-Punktwolke	3D-Bild
<p>Stärken / Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • direkte, i.d.R. robuste 3D-Punktbestimmung • aktives Verfahren, auch bei schlechten Lichtverhältnissen einsetzbar (dann allerdings auch keine Bildtextur verfügbar) • sehr grosse Flexibilität im Umgang mit 3D-Punktwolken / hoher Freiheitsgrad => ideal für Geoinformations-Profis (< 10%) 	<p>Stärken / Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • sehr dichte Tiefeninformation möglich (im Idealfall: für jedes Bildpixel) • eindeutige Definition und gute Messbarkeit von Kanten sowie gezieltes Anmessen von Einzelpunkten möglich • WYSIWYG (exakte Co-Registrierung von Bild- und Tiefeninformation) • sehr einfache Navigation, intuitive Interpretation und Funktionalität => ideal für Gros an Nicht-Geo-Fachleuten (> 90%)
<p>Schwächen / Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • schlechte Definition von Kanten • gezieltes / interaktives Anmessen von Einzelpunkten nicht möglich • Transparenz von Punktwolken führt zur gleichzeitigen Sichtbarkeit multipler Scans: Vorder- und Rückseite von Objekten in identischer Punktwolke, Unterscheidung? • Kontextverlust bei starkem Zoom bzw. bei Detailansichten (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 12) • anspruchsvolle Nutzung von 3D-Punktwolken: 6 Freiheitsgrade, Sichtbarkeiten, indirekte Messung über Ebenenverschnitte und Template-Matching 	<p>Schwächen / Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • passives Messverfahren: kinematische Innenaufnahmen erfordern i.d.R. zusätzliche Beleuchtung • Betrachtung ist ungefähr an die Aufnahmegeometrie gebunden (eingeschränkter Freiheitsgrad)

Die folgenden Abbildungen mit jeweils identischen Bildausschnitten sollen die Problematik der Interpretation von Bilddaten (linke Spalte) gegenüber derjenigen von texturierten Punktwolken (rechte Spalte) illustrieren. Bereits in der Übersicht (obere Zeile) sind in einer Punktwolke deutlich weniger Details erkennbar als im Bild. In der Detailansicht (untere Zeile) wird das Bild (links) zwar etwas unscharf. Der Kontext bleibt jedoch erhalten und eine Interpretation sowie allfällige Messungen sind nach wie vor möglich. Dies im Gegensatz zur Detailansicht der Punktwolke (rechts), in welcher der Kontext verloren geht und eine Interpretation – geschweige denn eine Zustandsbeurteilung – sogar für eine Fachperson kaum mehr möglich ist. Dieser Vergleich spricht klar für das **Bild als primäre Informationsquelle** mit einer 3D- bzw. Tiefeninformation, die sowohl aus einer bildbasierten als auch aus einer 3D-Punktwolke stammen kann.

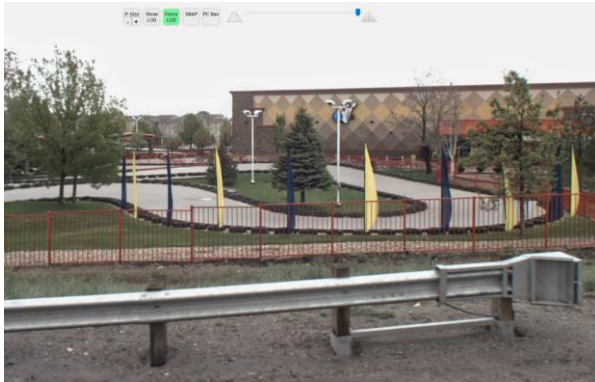


Abbildung 9: 3D-Bildaufnahme Übersicht mit einer seitlich blickenden Kamera (Aufnahme 1, Originalausschnitt)

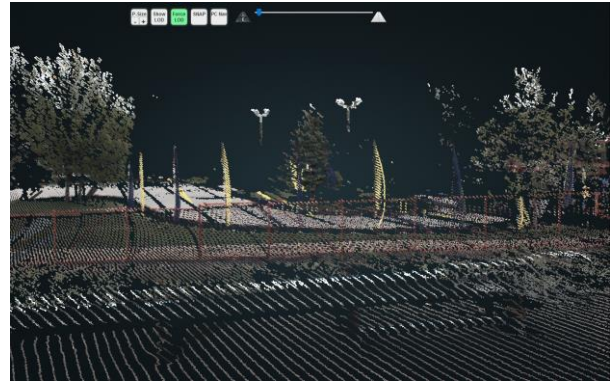


Abbildung 10: Texturierte 3D-Punktwolke Übersicht (Aufnahme 1, Originalausschnitt)



Abbildung 11: 3D-Bildaufnahme Detailausschnitt (Aufnahme 1, Detailansicht)

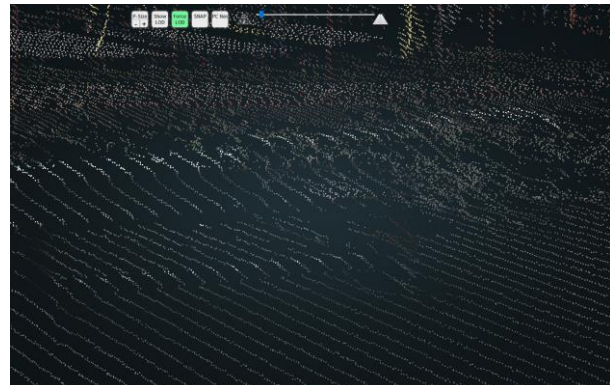


Abbildung 12: Texturierte 3D-Punktwolke (Aufnahme 1, Detailansicht)

6 Georeferenziertes 3D-Bild

Dieses Kapitel bietet eine Übersicht über Grundsätze, technische Grundlagen, Erfassungs- und Nutzungsmöglichkeiten von 3D-Bilddaten und liefert erste Empfehlungen für eine allfällige Umsetzung.

6.1 Grundsätze

Die wichtigsten Grundprinzipien eines georeferenzierte 3D-Bilds und dessen zentrale Eigenschaften wurden bereits im Kap.3 postuliert. Diese werden hier um wichtige technischen Prinzipien und Grundlagen ergänzt.

Der Datentyp «3D-Bild» sollte folgende grundsätzliche Anforderungen erfüllen:

- **Anwendungsneutralität** in der Verwendung, um das Anwendungsspektrum möglichst breit zu halten
- **Methodenfreiheit** bei der Erfassung, Generierung und Nutzung
- **Räumliche und zeitliche Kohärenz** der Bild- und der Tiefeninformation (WYSIWYG = what you see is what you get)
- Fokus der Festlegungen und Normierung: Nutzung der Daten; nicht die Datenerzeugung

Die technischen Grundsätze umfassen:

- Die Bildsensorik für die Ersterfassung muss in geeigneter Form **kalibriert** sein. Diese Kalibrierung kann mittels Testfeld oder Simultankalibrierung erfolgen.
- Beim Einsatz einer hybriden Konfiguration von Bild- und LiDAR-Sensoren sind Leverarm (Hebelarm) und Misalignment (Fehlansrichtung) mit ausreichender Qualität zu bestimmen.
- Der Datentyp «3D-Bild» soll auf verbreiteten, gut dokumentierten und möglichst **einfach handhabbaren Abbildungsmodellen** basieren. In erster Priorität ist das **Lochkameramodell** zu unterstützen. Weitere zunehmend verbreitete Kameramodelle wie etwa das äquidistante Modell für Fischaugenaufnahmen sollen einfach ergänzt werden können.
- 3D-Bilddaten sollen als **geometrisch korrigierte** Bilder zur Verfügung stehen, die mit einfachen mathematischen Modellen genutzt werden können. Sie müssen daher folgende Anforderungen erfüllen:
 - physikalische Abbildungsfehler sind so weit möglich korrigiert, d.h. die Bilder sind:
 - **hauptpunktbereinigt**: die Bilder sind um die Lage des Bildhauptpunkts korrigiert
 - **verzeichnungsfrei**: die Objektivverzeichnungen sind korrigiertIm Falle des Lochkameramodells erfüllen 3D-Bilder die Kollinearitätsbedingung.
- Die Tiefenkarte und das optische Bild sollen **identische Bilddimensionen** aufweisen.
- Eine zukünftige Erweiterbarkeit sowohl bezüglich neuen Abbildungsmodellen als auch bezüglich Spektralkanälen und zukünftiger Bildformate soll gewährleistet sein.

6.2 Datenerfassung

Die Erfassung von 3D-Bilddaten soll unabhängig von einer bestimmten Trägerplattform und grundsätzlich aus einer beliebigen Aufnahmeperspektive (horizontal, schräg, längs, quer, 360°) erfolgen können. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Erfassung von 3D-Bilddaten vorwiegend kinematisch erfolgen, aber eine statische Erfassung muss ebenfalls möglich sein.

Bei der Art der Datenerfassung kann aus heutiger Sicht unterschieden werden zwischen:

- Einer **Ersterfassung** oder Neuerfassung mit (kalibrierten) Hochleistungs-Messsystemen (metrische Kameras)
- Ergänzung von 3D-Bilddiensten mit Lowcost-Systemen (typischerweise mit «nicht-metrischer» Sensorik, d.h. mit Sensoren, die nicht spezifisch für Messzwecke konzipiert wurden)
- Zukünftig vermehrt auch: Crowd-basierte Erfassung und Aktualisierung, bspw. mit Daten aus integrierter Fahrzeugsensorik

Bei einer Erst- bzw. Neuerfassung stehen die Leistungsfähigkeit, Abdeckung und Qualität der zu erfassenden 3D-Bilddaten im Vordergrund. Es ist davon auszugehen, dass dafür bis auf weiteres kinematische Plattformen mit Hochleistungs-Sensoren für die Positionierung und die Umgebungserfassung zum Einsatz kommen werden. Mögliche Erfassungsplattformen sind (keine abschliessende Aufzählung):

- fahrzeug-basiert (strassen-, schienen- oder wassergestützt)
- luftgestützt: UAV-, Heli- und Flugzeug-basiert (grundsätzlich auch Satelliten-basiert)
- portable / tragbare Systeme (z.B. Rucksacksysteme), zukünftig auch handgehaltene Systeme wie Tablets oder Smartphones

Als typische Erfassungsmuster kommen in Frage:

- linienhafte Erfassung entlang von Verkehrs- oder Infrastrukturkorridoren (Strassen, Bahnlinien, Flüsse, Starkstromtrassen etc.)
- objektzentrierte Erfassung (z.B. Räume, Bauten)
- flächenhafte Erfassung (z.B. von Infrastrukturanlagen, Grossbaustellen)

6.3 Sensorik und Sensorkonfigurationen

Aufgrund der Methodenfreiheit soll die Sensorik zur Erfassung von 3D-Bilddaten nicht vorgeschrieben werden. Im Sinne einer «best Practice» werden nachfolgend die heute bereits bekannten bzw. etablierten Sensortechnologien aufgeführt und entsprechende Empfehlungen abgegeben. Im folgenden Abschnitt werden zunächst high-end Sensoren für eine leistungsfähige kinematische Ersterfassung betrachtet. Dies im Gegensatz zur Sensorik für Ergänzungsmessungen, an welche deutlich geringere Anforderungen gestellt werden, und die im Anschluss behandelt wird.

Sensorik für die Ersterfassung

Wie in Abbildung 8 aufgezeigt wird, besteht ein 3D-Bild a) aus einem eigentlichen Bild mit der radiometrischen Information und b) aus einer co-registrierten Tiefenkarte. Für die eigentliche **Bild-Datenerfassung** wird in jedem Fall ein Bildsensor für den gewünschten Spektralbereich benötigt. Zu den wichtigsten Anforderungen an Bildsensoren gehören:

- Eine hohe **geometrische Stabilität** des Sensors selbst (innere Orientierung) sowie der gegenseitigen Sensororientierung (relative Orientierung / Hebelarm und Misalignment).
- Eine gute **Bildqualität** mit einem hohen Dynamikumfang bei kurzen Belichtungszeiten. Damit sollen trotz kinematischer Erfassung sowohl sehr helle als auch dunkle Stellen mit gutem Kontrast abgebildet werden können.
- Die Unterstützung **hoher Frameraten**, um die Umgebung auch bei hoher Messgeschwindigkeit mit dichten Bildsequenzen und einem hohen Grad an Bildüberlappung mehrfach abzudecken.
- Ein **hardware-basiertes Triggering** – Damit wird die für eine kinematische Datenerfassung unabdingbare exakte Synchronisation mit weiteren Sensoren, wie etwa (Stereo-) Kameras, Positionierungssensorik oder LiDAR-Sensoren, sichergestellt.

Die **Tiefeninformation** kann grundsätzlich mit folgenden Sensortypen und -konfigurationen gewonnen werden:

- **Stereo-Kameras** mit physikalischer Basis (Tiefenextraktion mittels Stereo- und Multiview-Image-Matching) (Prinzip stereoskopische Tiefenbestimmung: siehe Abbildung 17)
- **Mono-Kameras** mit Bildüberlappung aus der Kamerabewegung (Tiefenextraktion mittels «Structure-from-Motion») (Abbildung 18)
- **LiDAR-Sensoren** mit zeilenweiser Abtastung der Umgebung (3D-Punktbestimmung mittels Vektormessung)
- **Range Imaging (RIM) Sensoren** (direkte Bestimmung von Tiefenkarten via Laufzeitmessung oder via Musterprojektion und Triangulationsverfahren)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen ein Mobile Mapping Fahrzeug mit mehreren Stereo-Kameras und einer Panoramakamera für monoskopische Bildaufnahmen. Die Stereokameras mit physikalischer Stereobasis liefern mit jeder Auslösung zwei sich überlappende Aufnahmen der Umgebung, was eine Tiefenextraktion mittels Stereo-Matching ermöglicht (Abbildung 17). Die seitwärts blickenden Kameraköpfe des Panoramasytems erfordern zunächst eine Kamerabewegung, damit eine 3D- bzw. Tiefenbestimmung mittels Structure-from-Motion möglich wird (Abbildung 18).



Abbildung 13: Forschungsfahrzeug des IVGI der FHNW mit drei Stereo-Kamerasystemen und einem monoskopischen Panorama-Kamerasystem

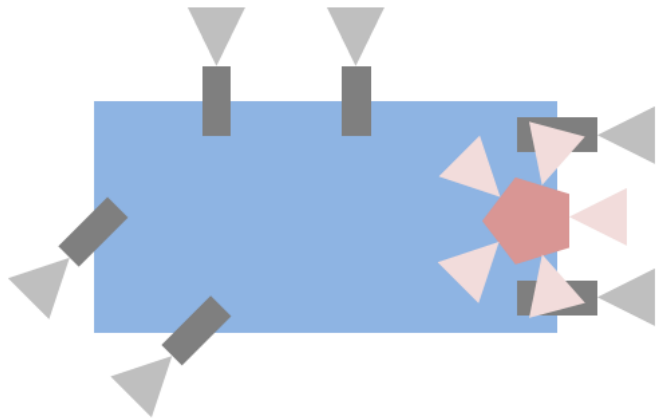


Abbildung 14: Kamerakonfiguration aus Abbildung 13 im Grundriss mit 3 Stereo-Kamerasystemen (grau) sowie monoskopischem Panorama-Kamerasystem (rot)

Unabhängig von der eingesetzten Erfassungssensorik, muss diese in geeigneter Form kalibriert sein. Diese Kalibrierung kann mittels Testfeld oder Simultankalibrierung erfolgen. Sowohl bei rein bildbasierten Sensorsystemen als auch bei hybriden Konfigurationen von Bild- und LiDAR-Sensoren sind Hebelarme und Misalignment (Fehlaustrichtung) zwischen den einzelnen Sensoren mit ausreichender Qualität zu bestimmen. Mögliche Verfahren werden u.a. in Burkhard et al. (2012) und Blaser et al. (2017) vorgestellt.

Sensorik für Ergänzungsmessungen

Ein Grossteil der Sensorik für die Erfassung und Aktualisierung von 3D-Bilddiensten steht noch in der Entwicklungsphase. Trotzdem ist bereits heute ein breites Spektrum von professionellen, über semi-professionellen bis hin zu Consumer-Systemen absehbar. Die nachfolgende Aufzählung soll einen ersten Überblick bieten:

- **Portable Erfassungssysteme** mit professioneller High-end Positionierungs- und Erfassungssensorik und mit Eignung für Indoor- und Outdoor-Anwendungen. Beispiele: Leica Pegasus: Backpack (Abbildung 6) oder BIMAGE CapturePro (Abbildung 7). Hinweise: diese Systeme sind sowohl für die Ersterfassung als auch die Aktualisierung geeignet.
- **Smartphones und Tablets mit 2D-Bildsensorik.** Zukünftige Einsatzmöglichkeiten im Indoor- und Outdoor-Bereich zur Ergänzung und georeferenzierten Annotation von 3D-Bilddiensten.
- **Mobile Devices mit 3D-Bildsensorik.** Seit kurzem sind am Markt erste Tablets und Smartphones mit integrierter 3D-Bildsensorik, die sich grundsätzlich für die Erfassung georeferenzierter 3D-Bilder im Innenraum eignen. Massgebender Auslöser und Treiber dieser Entwicklung ist das Google Tango Projekt (Abbildung 15).

- **AR-Brillen** wie etwa Microsoft HoloLens (Abbildung 16) verfügen über eine integrierte Sensorik zur 3D-Umgebungserfassung, welche zur Orientierung im Raum und zur Augmentierung der betrachteten Szene dient. Solche AR-Brillen dürften sich somit auch zur Erfassung von 3D-Bilddaten und zur Aktualisierung von 3D-Bilddiensten eignen.

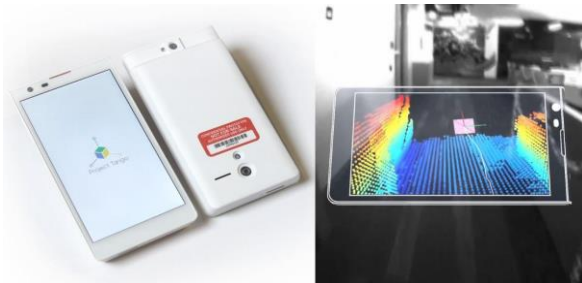


Abbildung 15: Google Tango mit 3D Range Imaging Sensorik (links) und Tiefenkarte (rechts) (Quelle: <https://www.slideshare.net/AugmentedWorldExpo/aaron-pulkka-awe-eu16aaronpulkka>)



Abbildung 16: MicroSoft HoloLens mit triangulierter Tiefeninformation (Quelle: <https://www.slideshare.net/AugmentedWorldExpo/aaron-pulkka-awe-eu16aaronpulkka>)

6.4 Generierung der Tiefeninformation

6.4.1 Bildbasierte Tiefenbestimmung

Bei der 3D-Rekonstruktion bzw. der Tiefenbestimmung aus Bilddaten stehen zwei Ansätze im Vordergrund: **Stereo Matching** bzw. Multi-View Stereo Matching einerseits (Abbildung 17), so wie **Structure from Motion (SfM)** andererseits (Abbildung 18). Je nach Literatur wird SfM als Überbegriff für die 3D-Rekonstruktion aus 2D-Bildern mit beliebigen, i.d.R. nicht kalibrierten, Kameras verwendet. SfM impliziert die Bestimmung der (relativen) Kamerapositionen simultan zur 3D-Rekonstruktion der Szene. (Multiview) Stereo Matching kann als Spezialfall von SfM betrachtet werden – mit den folgenden spezifischen Eigenschaften:

- Primärer Fokus auf Tiefenextraktion
- Verwendung kalibrierter Kameras (als Regelfall)
- Verwendung bekannter relativer Orientierungen (bspw. aus einer Kalibrierung)

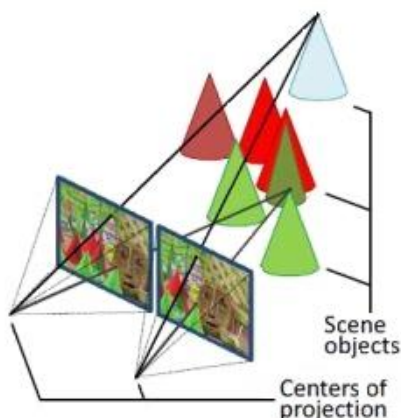


Abbildung 17: Prinzip der Tiefenbestimmung mit Stereobildpaar (Quelle: www.adept.net.au/news/newsletter/201211-nov/article_3D_stereo.shtml)

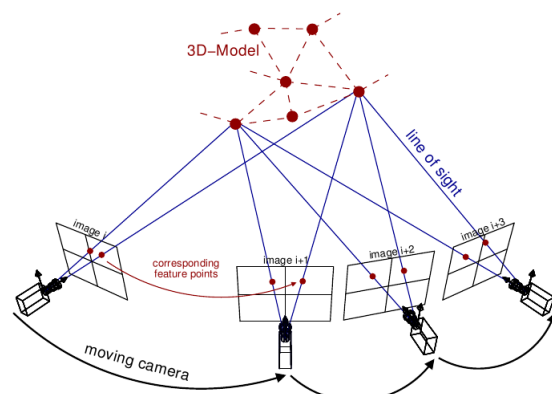


Abbildung 18: 3D-Extraktion mittels Structure-from-Motion (Sweeney, 2016)

Die Genauigkeit der Tiefenbestimmung hängt u.a. ab von der Grösse der Stereobasis, der Genauigkeit der Parallaxenbestimmung sowie der Kalibriergenauigkeit. Ein weiteres wichtiges Beurteilungskriterium für die bildbasierte Tiefenbestimmung ist die Vollständigkeit der resultierenden Tiefenkarten. Genauigkeit und Vollständigkeit werden massgeblich von der eingesetzten Matching-Strategie (Abbildung 19) beeinflusst. Für eine ausführliche Diskussion wird auf Cavegn et al. (2015) verwiesen.

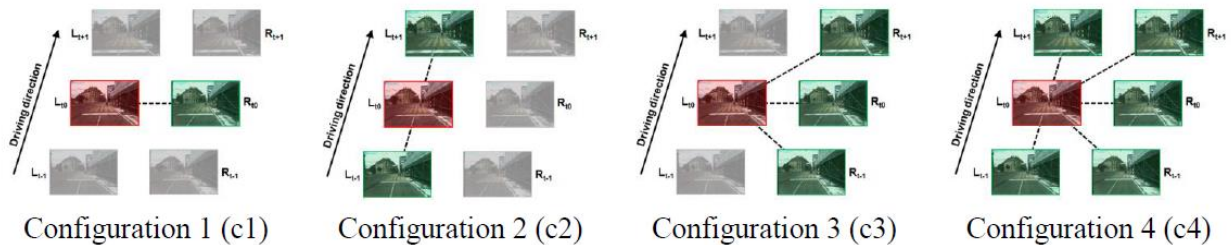


Abbildung 19: Image-Matching-Konfigurationen (Cavegn et al., 2015): (single) Stereo-Matching (Configuration 1); In-Sequence Matching / Structure-from-Motion (c2); kombinierte Ansätze: Multi-Stereo und In-Sequence-Matching (c3 und c4).

6.4.2 Tiefengenerierung aus LiDAR-Daten

Die Tiefeninformation von 3D-Bilddaten kann wie in Abbildung 8 illustriert auch aus LiDAR-Daten erfolgen. Dabei wird aus den mobil erfassten LiDAR-Daten zunächst eine 3D-Punktwolke generiert. Diese Punktwolke wird anschliessend auf die jeweilige Bildgeometrie projiziert, um für jedes Pixel einen Tiefenwert zu bestimmen bzw. zu interpolieren.

Dabei ergeben sich zwei grosse Herausforderungen:

- Die **unterschiedliche Erfassungsgeometrien** von Bild- und LiDAR-Sensorik, die sich durch die flächige Bildaufnahme und die zeilenweise Abtastung mit dem Laserscanner zwangsläufig ergeben. Diese unterschiedlichen Geometrien werden in Abbildung 20 und Abbildung 21 illustriert.
- Eine direkte Folge der unterschiedlichen Erfassungsgeometrien sind die **zeitlichen Abstände**, mit welchen ein Objekt von der Bild- und LiDAR-Sensorik erfasst wird. Dies ist vor allem im städtischen Raum ein Problem a) wegen der zahlreichen bewegten Objekte und b) wegen der grossen Zeitabständen zwischen der Erfassung identischer Objekte bei langsamen Erfassungsgeschwindigkeiten und häufigen Fahrzeughalten.

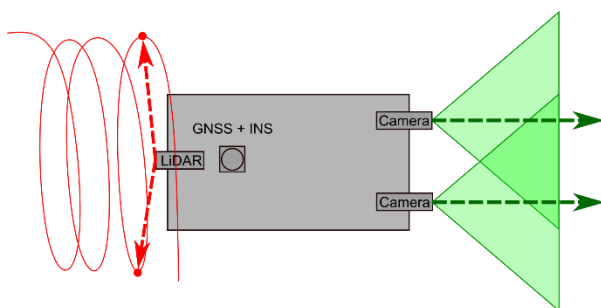


Abbildung 20: Unterschiedliche Erfassungsgeometrien und -perspektiven von LiDAR-Sensoren (rot) und Kameras (grün) im Grundriss.

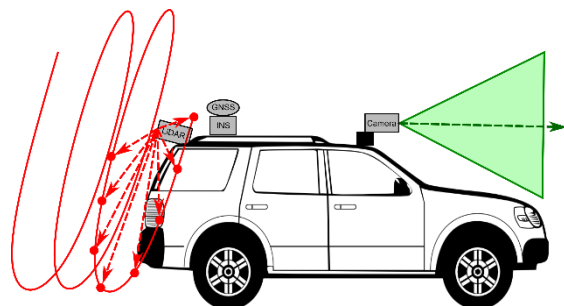


Abbildung 21: Unterschiedliche Erfassungsgeometrien und -perspektiven LiDAR (rot) und Front-Stereosystem (grün) im Längsschnitt

6.5 Georeferenzierung

Im Zusammenhang mit Mobile Mapping bezeichnet die Georeferenzierung bzw. die Sensororientierung die Verortung einer kinematischen Messplattform in einem geodätischen Bezugssystem. Die Sensororientierung umfasst die Bestimmung der Sensortrajektorie mit der Position und Ausrichtung des Sensors im dreidimensionalen Raum. Die Verortung der Messsensorik ist ein bestimmender Faktor für die absolute Messgenauigkeit, welche mit einer bestimmten Sensorik erzielt werden kann.

Heute kann zwischen den folgenden Sensororientierungsansätzen unterschieden werden:

- **Direkte Sensororientierung** – Direkte Bestimmung der Trajektorie der Messplattform i.d.R. mittels kombinierter GNSS- und Inertial-Sensorik.
- **Integrierte Sensororientierung** – Stützung einer direkten Georeferenzierung durch zusätzliche Beobachtungen der Umgebungssensorik, z.B. bildbasierte Passpunktmessungen.
- **Bildbasierte Sensororientierung** – Indirekte Bestimmung der Sensortrajektorie auf der Basis von Bildmessungen und einer Bündelorientierung.
- **Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)** – Integriertes Georeferenzierungsverfahren aus der Robotik mit dem Ziel der gleichzeitigen Lokalisierung / Positionierung einer Sensorplattform einerseits und der Kartierung der Umgebung andererseits, die wiederum als Basis für die Positionierung dient.

Das heutige Standardverfahren zur Georeferenzierung von Mobile Mapping Systemen ist die **direkte Sensororientierung** mit GNSS und INS. Die damit erzielbaren 3D-Genauigkeiten mit optimal kalibrierter Sensorik betragen:

- 3-5 cm im offenen Gelände mit guter GNSS-Abdeckung
- 10 bis >50 cm im städtischen Raum mit grösseren GNSS-Abschattungen

Mit integrierten und **bildbasierten Sensororientierungsansätzen** können die Genauigkeiten auch im städtischen Raum um ca. einen Faktor 10 gesteigert werden. Cavegn et al. (2016) weisen folgende 3D-Genauigkeiten aus:

- ca. 4 cm im städtischen Raum mit grösseren GNSS-Abschattungen

Für detaillierte Untersuchungen und Ergebnisse wird auf die folgenden Publikationen verwiesen: Burkhard et al. (2012), Cavegn et al. (2015 & 2016) sowie Blaser et al. (2017).

Nachträgliche Verbesserung der Georeferenzierung

Eine Verbesserung der direkten Sensororientierung ist sowohl mit LiDAR- als auch mit Bildsensorik möglich. Bei LiDAR-Daten ist diese Verbesserung jedoch auf die Einpassung der direkt georeferenzierten Trajektorien auf Passflächen bzw. Passpunktgruppen beschränkt.

Im Gegensatz dazu bietet eine bildbasierte Sensorik bei hohen Bildüberlappungen völlig neue Möglichkeiten. So kann die Georeferenzierung von 3D-Bilddaten mit Hilfe bildbasierter Sensororientierungsansätze zu einem späteren Zeitpunkt bedarfsweise verbessert werden. Dies ermöglicht es beispielsweise, grosse Projekte (ganze Städte oder Kantone) mit direkter GNSS-INS-Sensororientierung hoch automatisiert zu georeferenzieren. Im Bedarfsfall, z.B. bei gesteigerten Genauigkeitsanforderungen für Projektierungsarbeiten, kann die Georeferenzierungsgenauigkeit ausgewählter Gebiete mittels bildbasierter Sensororientierung nachträglich gesteigert werden.

6.6 Datenspeicherung und -nutzung

Die detailgetreue kinematische Erfassung der Umwelt und der Aufbau digitaler Realitäten ist mit riesigen Datenmengen verbunden. 3D-Bilddienste sind nur dank neuester Cloud-Technologien überhaupt möglich geworden. Neben dem effizienten und dynamischen Zugriff auf riesige Speichervolumina sind auch Rechenkapazitäten, etwa für die automatische 3D-Extraktion, sowie hochgradig skalierbare Serverleistungen und Bandbreiten wichtige Voraussetzungen.

Eine routinemässige vollständige Abgabe oder gar ein Austausch umfassender 3D-Bilddatensätze auf konventionellen Speichermedien ist daher kaum mehr machbar und nur in den wenigsten Fällen sinnvoll.

Demgegenüber bieten laufende Standardisierungsbestrebungen im Bereich der Cloud Technologien und Open Source Plattformen wie etwa OpenStack (<https://en.wikipedia.org/wiki/OpenStack>) sowie zahlreiche kommerzielle Cloud Technologien eine zunehmend breitere Auswahl an Technologien für Public oder Private Cloud Lösungen.

Ein 3D-Geo-Bilddatendienst lässt sich über unterschiedliche Schnittstellen in Drittanwendungen, GIS-Systeme oder bestehende Geodateninfrastrukturen einbinden. Folgende Anbindungen können unterschieden werden:

- Zur Verfügung gestellte **Web-Programmierschnittstellen** zur Integration des 3D-Bilddatendienstes Web Front-Ends oder dessen Basisfunktionen in eine Drittanwendung oder ein WebGIS.
- Einbindung und lagekorrekte Überblendung beliebiger Geodaten-Inhalte über bestehende **Web Feature Services** (bspw. WFS, WFS-T, ArcGIS REST, WMS) in die 3D-Bilder. Über diese Schnittstellen können Geobjekte in den 3D-Bilddaten direkt erfasst, editiert oder gelöscht werden. Entsprechend können bestehende 2D- oder 3D-Datensätze einfach erfasst, gepflegt oder im Kontext der realen Bildinformation präsentiert werden.
- **Bereitstellung der Bilddatenbasis** über einen RESTful Web Service zur Nutzung der 3D-Bilder bspw. für automatisierte Auswertungen oder Einbindung der Bilder in unabhängige Anwendungen. Dabei ist denkbar, dass einzelne Methoden ausgeführt auf der Bilddatenbasis direkt über HTTP Service bereitgestellt werden können.

6.7 Datenaktualisierung und -ergänzung

3D-Bilddaten weisen einige Ähnlichkeiten zu anderen unstrukturierten Geodatenansätzen wie etwa Orthophotos oder Höhenmodellen auf, was sich auch auf die Datenaktualisierung auswirkt. So ist beispielsweise eine traditionelle «Nachführung» einzelner Geobjekte nicht zweckmässig, da solche in aller Regel gar nicht definiert sind. Hingegen bieten sich bei 3D-Bilddaten folgende Nachführungsmöglichkeiten an:

- **Periodische Neuerfassung** – Diese erfolgt, wie im Falle von Luftbildern und Orthophotos, in aller Regel verbunden mit einer **Historisierung** der Datensätze. Diese Neuerfassung wird entweder nur Teilperimeter oder dann ganze Operate umfassen. Neuerfassungen werden wiederum mit spezialisierten mobilen Messplattformen mit metrischen Sensoren erfolgen. Die Historisierung von 3D-Bilddaten bzw. die Unterstützung mehrerer Zeitstände ist ein besonders wichtiges Argument für den Einsatz von 3D-Bilddaten.
- **Ergänzung der 3D-Bilddaten** – Diese kann entweder ad hoc durch Einzelaufnahmen mit mobilen Endgeräten wie Tablets oder Smartphones (siehe unten) oder systematisch durch mobile Messplattformen mit reduzierter Leistungsfähigkeit erfolgen. Diese Aktualisierung

von 3D-Bilddiensten wird stark vom Anwendungsfall und den damit verbundenen Anforderungen abhängen. Denkbar wären hier folgende Szenarien:

- **Systematische Ergänzungsaufnahmen** ausgewählter Bereiche im Rahmen eines Nachführungsauftrags, z.B. nach dem Abschluss von (Strassen-) Bauarbeiten oder der Erstellung neuer Bauten oder Objekte (z.B. Tramhaltestelle)
- **Ad hoc Ergänzungsaufnahmen** durch Kunden (z.B. Facility Manager od. Bauverwalter) oder **crowd-basiert**, in Analogie zur Aktualisierung von OpenStreetMap. Erste Beispiele wie etwa Mapillary (www.mapillary.com) «a service for sharing geotagged photos» zeigen das Potential einer crowd-basierten Aktualisierung und Auswertung von Bilddiensten auf. Für zuverlässige Resultate mit garantierten Genauigkeiten im m- oder dm-Bereich werden solche Plattformen für unbestimmte Zeit auf professionellen Ersterfassungen (siehe oben) aufbauen müssen.
- **Laufende Aktualisierung einer globalen 3D-Punktwolke** – Angelehnt an die Entwicklungen im Bereich autonomes Fahren, wo sich die Verwendung einer laufend aktualisierten 3D-Punktwolke abzeichnet, könnte eine solche 3D-Punktwolke bzw. ein trianguliertes 3D-Oberflächenmodell auch als Produkt aus 3D-Bilddiensten abgeleitet und mit Hilfe von Ergänzungsaufnahmen laufend aktualisiert werden. Dabei wird die duale Struktur von (3D-) Bilddaten und Punktwolke ausgenützt.

Stand der Umsetzung

Zur Aktualisierung von 3D-Bilddaten muss festgehalten werden, dass erst die periodische Neuerfassung inkl. Historisierung marktreif ist. Konzepte zur systematischen und ad hoc Ergänzung von 3D-Bilddaten befinden sich im experimentellen Stadium und stehen kurz vor der Einführung in der Praxis. Demgegenüber ist die laufende Aktualisierung einer (globalen) 3D-Punktwolke noch ein Forschungsthema. Diese Forschung dürfte durch die Fortschritte beim Dense Image Matching mit Optimierung im 3D-Objektraum (Luhmann, 2018) sowie durch die Entwicklungen zur Aktualisierung von maschinenlesbaren 3D-Karten für das autonome Fahren rasch an Bedeutung gewinnen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass für die Aktualisierung einer genügend genauen und zuverlässigen 3D-Punktwolke spezielle Anforderungen an die Qualität und Konfiguration der Ergänzungsaufnahmen gestellt werden.

6.8 Qualitätssicherung

Die Qualität der 3D-Bilddaten muss trotz Methodenfreiheit gewährleistet sein. Der **geometrische Genauigkeitsnachweis** erfolgt dabei am wirkungsvollsten **im Objektraum** (i.d.R. im Landeskoordinatensystem) über Koordinatenvergleiche mit unabhängig bestimmten Kontrollpunkten oder Kontrollflächen.

Bei den geforderten Genauigkeiten wird empfohlen, zwischen Standardanforderungen und gesteigerten Anforderungen zu unterscheiden.

- Die **Standardanforderungen** sollten mit einem hohen Automatisierungsgrad basierend auf dem **aktuellen Stand der Technik** und möglichst geringem interaktivem Nachbearbeitungsaufwand erreicht werden, um ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erzielen.
- **Gesteigerte Anforderungen** sollten nur dort wo zwingend nötig zum Einsatz kommen und können sich nach den Bedürfnissen des jeweiligen Projekts richten. Vgl. auch obige Bemerkungen zur Möglichkeit, die Genauigkeit von 3D-Bilddaten nachträglich mit Hilfe bildbasierter Georeferenzierung zu steigern.

Weitere Qualitätsmasse sind denkbar wie z.B. Qualitäts- bzw. Unsicherheitsangaben für die Tiefeninformation pro Pixel (z.B. direkt bestimmt, interpoliert oder unbestimmt / kein Tiefenwert verfügbar).

6.9 Basisfunktionalität von 3D-Bilddaten

Auf Grund der Anwendungsneutralität des 3D-Bilddatentyps sind die Anwendungsmöglichkeiten extrem vielfältig und heute noch kaum abschätzbar. In diesem Abschnitt wird die heute bereits bekannte und realisierte Basisfunktionalität von 3D-Bilddaten vorgestellt. Aufgrund laufender Entwicklungsfortschritte dürfte sich diese Basisfunktionalität in Zukunft noch deutlich erweitern. Eine Zusammenstellung von Anwendungsbereichen und exemplarischen Anwendungen erfolgt in Kapitel 8.1.

Die auf der Basis von 3D-Bilddaten realisierbare Funktionalität wird nachfolgend unterteilt in: Basisfunktionalität, Funktionalität für Anwendungen im Aussenraum und Funktionalität für Anwendungen im Innenraum.

Basisfunktionalität

- **3D-Messaufgaben** – Bestimmung von Strecken, Flächen, Höhendifferenzen, Abständen und Lichtraumhöhen sowie Funktionen zur Ablotung von Punkten auf die Geländeoberfläche
- **3D-Digitalisierung** – Interaktive Erfassung von sichtbaren Geoobjekten, z.B. Schächten, Einlässen, Verkehrsschildern, Markierungen, Elementen der Bodenbedeckung etc.
- **Augmentierung** – Lagerichtige Überlagerung von existierenden oder geplanten Geoobjekten in die 3D-Bilddienste sowie Überblendung von Annotationen oder Hinweisen (z.B. Schadensmeldungen oder Nachführungshinweisen)
- **Räumliche Suchfunktionalität** – Effiziente räumliche Suche nach sämtlichen 3D-Bildern, die einen bestimmten Punkt oder ein bestimmtes Objekt enthalten. Dies erlaubt die Kontrolle bzw. Verbesserung von 3D-Punktmessungen und den raschen Vergleich verschiedener Zeitstände
- **Absteckung** – Bestimmung von Absteckungsmassen und Realisierung einfache Absteckungsarbeiten mit Hilfe von mobilen Clients (konventionelle Tablets und Smartphones sowie zukünftige 3D-Devices à la Google Tango) und zukünftig mit AR-Brillen
- Zukünftig: **Bildbasierte 3D-Lokalisierung** – Neue Algorithmen und Methoden dürften es in Zukunft erlauben, 3D-Bilddienste für eine rein bildbasierte 3D-Lokalisierung eines mobilen Devices mit Bestimmung der 3D-Aufnahmeposition und der Orientierung im Raum zu nutzen. Damit dürfte eine rasche und genaue Co-Registrierung der Bildaufnahmen mit der «digitalen Realität» möglich werden. Dies wiederum wird die Voraussetzung für neue genaue Augmented Reality Anwendungen und neue Messfunktionen schaffen.

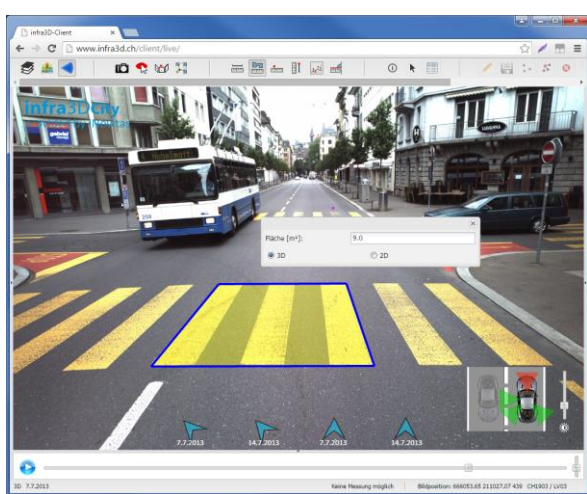


Abbildung 22: Basisfunktionalität **3D-Digitalisierung** und **Flächenberechnung** am Beispiel einer einfachen Polygonerfassung im Browser (Nebiker, Cavegn, & Loesch, 2015)



Abbildung 23: **Mobile Nutzung** von 3D-Bilddiensten für Visualisierungs- und Messaufgaben sowie für zukünftige Absteckaufgaben (Nebiker, Cavegn, & Loesch, 2015)



Abbildung 24: **Räumliche Suchfunktion** nach Bildern, die einen bestimmten Punkt oder ein Objekt enthalten (Nebiker, Cavegn, & Loesch, 2015)

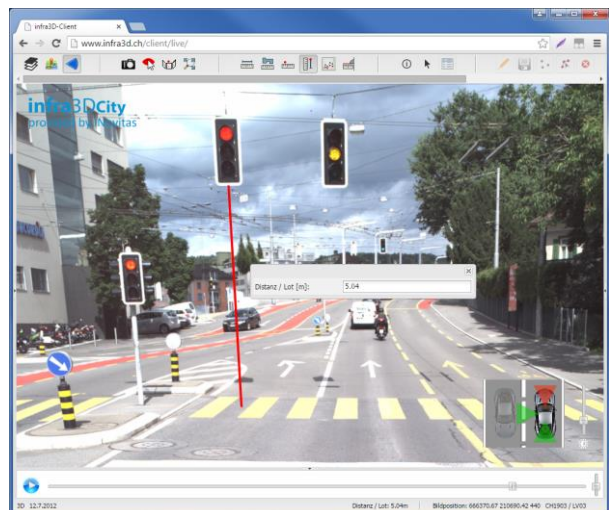


Abbildung 25: Messtool zur Höhenbestimmung und zum **Abloten** von Punkte auf die Geländeoberfläche (Nebiker, Cavegn, & Loesch, 2015)

Funktionalität Aussenbereich

- Ableitung von hoch detaillierten, realitätsgetreuen **3D-Umgebungsmodellen**, z.B. von 3D-Stadtmodellen (Ackermann & Studer, 2016) (Abbildung 26)
- Automatische **Umwandlung von 2D- in 3D-Geodaten** (z.B. durch die Projektion von 2D-Geodaten wie etwa Leitungskatasterdaten auf die hochgenaue digitale Geländeinformation aus dem 3D-Bild)
- Augmentierung von existierenden und geplanten Geobjekten, spez. geplante Objekte, mit Nutzung der Tiefeninformation der 3D-Bilddaten zur **automatischen Ausmaskierung** bzw. zur Beibehaltung von Vegetation, Strassenmöblierung etc. für realitätsgetreue Projektvisualisierungen



Abbildung 26: Automatisch abgeleitetes 3D-Stadtmodell aus Stereo-Panoramabefahrung der FHNW (Ackermann & Studer, 2016)

Funktionalität Innenbereich

- **Georeferenzierte 3D-Dokumentation** – Rasche, detaillierte, metrische 3D-Dokumentation von Gebäuden, insbesondere von Innenräumen
 - Zeitliche Baufortschrittsdokumentation; Schadensdokumentation und Beweissicherung
 - als mögliche Basis für die Dokumentation von 3D-Eigentum bzw. den Aufbau eines 3D-Eigentumkatasters
 - für das Immobilienmanagement und den Gebäudeunterhalt (Facility Management)
 - für die effiziente Ableitung von Building Information Models (BIM)
- **Nachführung** – Einfach bedienbare 3D-Bilddatenerfassung mit mobilen Clients durch Nicht-Geomatikfachleute zur georeferenzierten Dokumentation von Veränderungen und Aktualisierung von BIM oder Facility Management Systemen
- **Mixed Reality im Gebäudebereich** – Zukünftige Nutzung von 3D-Bilddiensten als Basis für Extended Reality Anwendungen im Gebäudebereich mit konventionellen Smartphones oder neuen mobilen 3D-Bildsensoren wie bspw. Google Tango (z.B. Überlagerung nicht sichtbarer Leitungselementen oder von ortsbezogenen Störungsmeldungen etc.)

7 Normierungsvorschläge

Bei der Normierung eines neuen Datentyps «3D-Bild» sollten der Nutzen und das Verhältnis zum Aufwand im Vordergrund stehen. Daraus ergeben sich eine Reihe von Fragestellungen, die vor der Ausarbeitung oder allenfalls der Übernahme einer Norm zu beantworten sind:

- Welches ist das Hauptziel der Normierung? – Hier stehen sich die Zugänglichkeit bzw. Nutzung von 3D-Bilddaten und Diensten einerseits und ein möglichst verlustfreier vollständiger Datenaustausch andererseits gegenüber.
- Auf welchem Abstraktionslevel soll die Normierung erfolgen? – Dieser könnte von der Normierung von Rohdaten bis hin zur Normierung von Web Service Schnittstellen reichen.
- Welches sind die Rahmenbedingungen und der Kontext der Normierung? – Im Falle einer angestrebten einfachen Nutzung im Web, sind existierende Web-Standards wie etwa Bildformate oder Codierungen mit nativer Unterstützung in Browsern zu berücksichtigen.

Mehrere Gründe sprechen für eine möglichst schlanke Normierung von Services auf der Basis etablierter Web-Standards: einerseits dürfte ein eigentlicher Austausch der zu erwartenden riesigen georeferenzierten 3D-Bilddatenmengen extrem selten erforderlich sein, zudem zeigen Erfahrungen aus langjährigen Bemühungen zur Normierung von sensornahen Bilddaten, wie aufwändig und komplex diese Bestrebungen sein können. Ein Beispiel für solch langjährige Bestrebungen mit beschränktem Praxisnutzen bietet die ISO-Norm 19130:2010 «Geographic information - Imagery sensor models for geopositioning» (www.iso.org/standard/51789.html).

7.1 Grundsätze

Die folgenden Vorschläge und Empfehlungen bauen auf folgenden Festlegungen auf (vgl. auch technische Grundsätze in Kap. 6.1):

- Nutzung von **Web Services** und Normierung der entsprechenden Schnittstellen, Funktionen und Austauschformate
- Fokussierung auf **Nutzerdaten** mit einfachen Kameramodellen sowie hauptpunktbereinigten und verzeichnungsfreien Bilddaten. Damit wird die Komplexität auf der Nutzerseite so tief wie möglich gehalten, um eine einfache Implementierung ohne ausgefeilte Photogrammetrie-Kenntnisse zu ermöglichen.

Nachfolgend wird ein minimaler Satz von spezifischen Eigenschaften diskutiert, die im Rahmen einer Normierung festzulegen sind. Im Anschluss daran werden zwei mögliche Umsetzungen vorgestellt: ein Ansatz basierend auf einer REST Schnittstelle und eine Option zur Nutzung des neuen OGC 3D Perspective Services.

7.2 Minimale Festlegungen

In diesem Abschnitt wird eine minimale Festlegung von Eigenschaften von 3D-Bilddaten vorgeschlagen. Diese unvollständige minimale Liste wird bei der Definition einer operationalisierbaren Norm kritisch diskutiert und ergänzt werden müssen.

Thema	Beschreibung (Eigenschaften und Wertebereiche)
Koordinatensysteme	Es werden nur diejenigen Koordinatensysteme normiert, welche für die Nutzung erforderlich sind, d.h. keine Original-Sensorkoordinatensysteme der Erfassungssysteme (z.B. Polarkoordinatensystem TLS od. ähnlich)
Objektkoordinaten	Nutzung der EPSG-Konvention
Bildkoordinaten	Vgl. OGC-Konventionen im Proposal für 3D Portrayal Service: <ul style="list-style-type: none"> - Ursprung oben links - X-Achse: nach rechts - Y-Achse: nach unten Einheiten: Pixel
Kameramodell	Zu unterstützende mathematische Modelle: <ul style="list-style-type: none"> - pinhole: perspektivisches Kameramodell (= Lochkamera) (default) - equidistant: äquidistantes Kameramodell für Fischaugenaufnahmen (besonders relevant für Innenaufnahmen) - evtl. cylindrical od. spherical
Innere Orientierung	Annahme / Regelfall: hauptpunktbereinigte und verzeichnungsfreie Bilder. <ul style="list-style-type: none"> - Kamerakonstante - Lage Bildhauptpunkt (opt.)
Äussere Orientierung	<ul style="list-style-type: none"> - Projektionsmatrix: Diese erlaubt eine eindeutige Definition von Projektionszentrum und Bildausrichtung im Raum. Vorteile gegenüber Euler'schen Drehwinkeln: kein Gimbal-Lock sowie keine Berücksichtigung von Drehreihenfolgen erforderlich. (Andere Repräsentationen lassen sich auf Applikationsebene ableiten.) - Alternative: Projektionszentrum in Objektkoordinaten (X_0, Y_0, Z_0) und Eulersche Drehwinkel (ω, ϕ, κ) => Konvention Drehreihenfolge wäre zu illustrieren und zu dokumentieren (inkl. Beispiele)
(Optisches) Bild	<ul style="list-style-type: none"> - Bilddimensionen in [pix] - Pixelgrösse in [μm] - Bildtyp: greylevel RGB - Evtl. Spezifikation der Kanäle - Bittiefe (pro Kanal)
Tiefenbild	<ul style="list-style-type: none"> - Bilddimensionen in [pix] - Pixelgrösse in [μm] - Disparitätswert in [pix] und Stereobasis (b_x) (in [m]) - Alternative: Distanzwert in [m] - Max. Wert Tiefenbild
Qualitätsbild (opt.)	Mit Herkunfts- bzw. Qualitätsattribut pro Pixel: gemessen interpoliert kein Wert vorhanden (z.B. Interpolation ausserhalb Toleranz). Alternative: Qualitätswert in Tiefenbild codiert.
Format Bilddatei	Standard-Webformate (.jpg od. .png)
Format Tiefenbild	Standard-Webformate mit min. 16 bit Support (.png)

7.3 REST API für 3D-Bilddienste

Eine zeitgemässe Schnittstelle für 3D-Bilddienste und eine entsprechende Normierung könnte auf der Basis von REST (Representational State Transfer) realisiert werden. REST ist ein modernes Programmierparadigma für verteilte Systeme, insbesondere für Webservices. Ein grosser Vorteil von REST ist dessen Zustandslosigkeit. Jede REST-Nachricht enthält alle Informationen, die für den Server bzw. Client notwendig sind, um die Nachricht zu verstehen. Weder der Server noch die Anwendung soll Zustandsinformationen zwischen zwei Nachrichten speichern. Diese Zustandslosigkeit begünstigt die Skalierbarkeit von Webservices. Beispielsweise können eingehende Anfragen im Zuge der Lastverteilung unkompliziert auf beliebige Maschinen verteilt werden. REST kommt heute vermehrt in Kombination mit JSON (JavaScript Object Notation) zum Einsatz. JSON ist ein Datenaustauschformat, welches sich besonders gut für die Objekt-Serialisierung und im Kontext von Webanwendungen in Kombination von JavaScript eignet. (Quellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Representational_State_Transfer und https://de.wikipedia.org/wiki/JavaScript_Object_Notation)

Eine mögliche Normierung von 3D-Bilddiensten auf der Basis von REST und JSON wird in der Folge exemplarisch aufgezeigt. Die folgenden Beispiele zur Illustration von Aufbau und Funktionsweise einer solchen REST API wurden freundlicherweise von der Firma iNovitas AG zur Verfügung gestellt.

7.3.1 Klassen und Entitäten

Eine REST-Schnittstelle für 3D-Bilddienste könnte auf folgenden minimalen Entitäten aufbauen:

- Project – Projektinformationen
- Frame – Informationen zu einzelnen 3D-Bildern (Georeferenzierung, Zeitstempel, Link auf Datenstreams und auf Metadaten)
- Frame Metadata – Metadaten für Sammlungen von 3D-Bildern eines Sensors
- Capture System – Informationen zu den verschiedenen Sensoren eines Erfassungssystems
- Topologies – Informationen zur Topologie von 3D-Bilddaten (mit Knoten-Kanten-Strukturen) für eine effiziente und einfache Navigation (Hinweis: in dieser Studie nicht behandelt)

Der Aufbau dieser Entitäten wird anhand der zwei Entitäten 'Frame' und 'FrameDataMeta' nachfolgend illustriert:

```
Frame
{
  "topologies": {
    ...
  }
},
"link": link, # (Link object to self)
"orientation": [float (omega), float (phi), float (kappa)], # (camera orientation)
"position": , [float (easting), float (northing), float (height), int (epsg)]
# (Position of camera)
"timestamp": string, (Timestamp when frame was captured )
"capturesystem": {
  ...
},
"previewimage": {
  "link": link # (Link object to imagepreview)
},
"id": string, # (Frame identifier)
"framedatameta": {
```

```
"link": link, # (Link object to framedatameta)
  "id": string # (Framedatameta identifier)
}
}
```

```
Frame Data Meta #Metadata for 3D image frames
{
  "imagepixsize": float, # (Image pixel size [micrometers])
  "depthmapwidth": int, # (Depthmap width [pixel])
  "depthmappixsize": float, # (Depthmap pixel size [micrometers])
  "tilesize": int, # (Tile size used in quadree tilling [pixel])
  "depthmapstructure": string, # (Depthmap structure)
  "minzoom": int, # (Minimal zoom)
  "frames": {
    "link": link, # (Link object to frames)
  },
  "depthmapnumdisparities": float, # (Depthmap number of disparities)
  "imagestructure": string, # (Image structure)
  "imageformat": string, # (Image format (e.g. jpg))
  "imagewidth": int, # (Image width [pixel])
  "maxzoom": int, # (Maximal zoom)
  "depthmapformat": string, # (Depthmap format (e.g. png))
  "streamingdirectory": string, # (Where the images are)
  "depthmapheight": int, # (Depthmap height [pixel])
  "id": string, # (Framedatameta identifier)
  "link": link, # (Link object to self)
  "imageheight": int # (Image height [pixel])
}
```

7.3.2 Beispiele von API Funktionen

Zur Illustration möglicher REST API Funktionen für 3D-Bilddienste werden nachfolgend eine Auswahl an Funktionen aufgeführt, sowie anhand von Beispielen die entsprechenden Funktionsaufrufe und die Ergebnisse als JSON-Snippets aufgezeigt.

Project-Funktionalität (Handling / Ansprache von 3D-Bildprojekten)

Funktionen:

GET /projects/{collection}: List all projects within a certain collection

GET /projects/{collection}/{id}: Fetch a project within a certain collection given its identifier

Beispiel: Auflisten aller Projekte im Datenrepository collectionDB1. Liefert in diesem Fall ein Projekt mit dem Namen «DemoKantonX»

```
GET /api/v1/projects/collectionDB1 HTTP/1.1
```

```
[
  {
    "id": "DemoKantonX",
    "link": {
      "href": "http://localhost:5000/api/v1/projects/collectionDB1/DemoKantonX",
      "rel": "self"
    },
    "name": "DemoKantonX"
  }
]
```

Frame-Funktionalität (Handling der eigentlichen 3D-Bilder)

GET /frames/{collection}: List all frames within a certain collection

GET /frames/{collection}/{id}: Fetch a frame within a certain collection given its identifier

GET /frames/{collection}/{id}/capturesystem: Fetch the capturesystem of a given frame

GET /frames/{collection}/{id}/framedatameta: Fetch the framedatameta of a given frame

GET /frames/{collection}?within=[easting, northing, height, radius, epsg] or [easting, northing, radius, epsg]: Optional spatial query to return data within radius at position

Beispiel: Anfrage für Daten bzw. Links für das Bild mit der id = '1-1'. Liefert sämtliche Angaben bzw. Datenlinks, die zur Nutzung des entsprechenden 3D-Bilds (Frame) erforderlich sind. Konkret sind dies: den Link zur Erfassungssensorik, den Link zu den Bild-Metadaten, zu einem Preview sowie die äussere Orientierung.

```
GET /api/v1/frames/collectionDB1/1-1
```

```
{
  "capturesystem": {
    "id": "1",
    "link": {
      "href": "http://localhost:5000/api/v1/frames/collectionDB1/1-1/capturesystem",
      "rel": "capturesystem"
    }
  },
  "framedatameta": {
    "id": "1",
    "link": {
      "href": "http://localhost:5000/api/v1/frames/collectionDB1/1-1/framedatameta",
      "rel": "framedatameta"
    }
  },
  "id": "1-1",
  "link": {
    "href": "http://localhost:5000/api/v1/frames/collectionDB1/1-1",
    "rel": "self"
  },
  "orientation": [
    85.1176,
    -38.7032,
    -1.5192
  ],
  "position": [
    2609310.617,
    1268519.956,
    275.571,
    2056
  ],
  "previewimage": {
    "link": {
      "href": "https://serverXY.amazonaws.com/DemoKantonX/1/1/0-0-0_img.jpg",
      "rel": "previewimage"
    }
  },
  "timestamp": "2014-07-15 09:51:31.816246",
  "topologies": {
    "stream": {
```

```

    "id": "1",
    "link": {
      "href": "http://localhost:5000/api/v1/frames/collectionDB1/1-1/stream",
      "rel": "stream"
    }
  }
}

```

Beispiel: Anfrage für Metadaten zum Bild mit der id = '1-1'. Liefert die gesamten Metadaten zur eigentlichen Bilddatei sowie zur Tiefendatei.

```
GET /api/v1/frames/collectionDB1/1-1/framedatameta HTTP/1.1
```

```

{
  "depthmapformat": "png",
  "depthmapheight": 1336,
  "depthmapnumdisparities": 352.0,
  "depthmappixsize": 18.0,
  "depthmapstructure": "1",
  "depthmapwidth": 2004,
  "frames": {
    "link": {
      "href": "http://localhost:5000/api/v1/framedatametas/collectionDB1/1/frames",
      "rel": "frames"
    }
  },
  "id": "1",
  "imageformat": "jpg",
  "imageheight": 2672,
  "imagepixsize": 9.0,
  "imagestructure": "1",
  "imagewidth": 4008,
  "link": {
    "href": "http://localhost:5000/api/v1/framedatametas/collectionDB1/1",
    "rel": "self"
  },
  "maxzoom": 3,
  "minzoom": 1,
  "streamingdirectory": "//serverXY.amazonaws.com/DemoKantonX",
  "tilesize": 512
}

```

7.4 OCG 3D Portrayal Service als mögliche Basis für zukünftige 3D-Bilddienste

Als Alternative oder in Ergänzung zur oben aufgeführten REST-Schnittstelle könnte ein zukünftiger Zugriff auf 3D-Bilddienste auch über den neuen OGC 3D Portrayal Service (<http://www.opengeospatial.org/standards/3dp>) des Open Geospatial Consortium erfolgen.

Der 3D Portrayal Service ist eine Implementierungs-Spezifikation für die Übermittlung und Repräsentation von 3D-Geodaten. Der Standard legt fest, wie 3D-Inhalte beschrieben, selektiert und übermittelt bzw. geliefert werden können. Er schreibt jedoch nicht vor, wie die 3D-Inhalte zu organisieren und grafisch darzustellen sind.

Der 3DPS definiert eine Reihe von Operationen, wie etwa GetCapabilities, GetScene und – für uns besonders interessant – GetView (vgl. Abbildung 27). GetCapabilities dient zur Beschrei-

bung der verfügbaren Funktionalität eines 3DPS Servers sowie zu den vorhandenen 3D-Szenen bzw. Geodatensätzen. GetScene liefert ein Subset des gesamten 3D-Geodatensatzes als 3D-Geometrie bzw. als 3D-Szene, die anschliessend im Browser interaktiv genutzt werden kann.

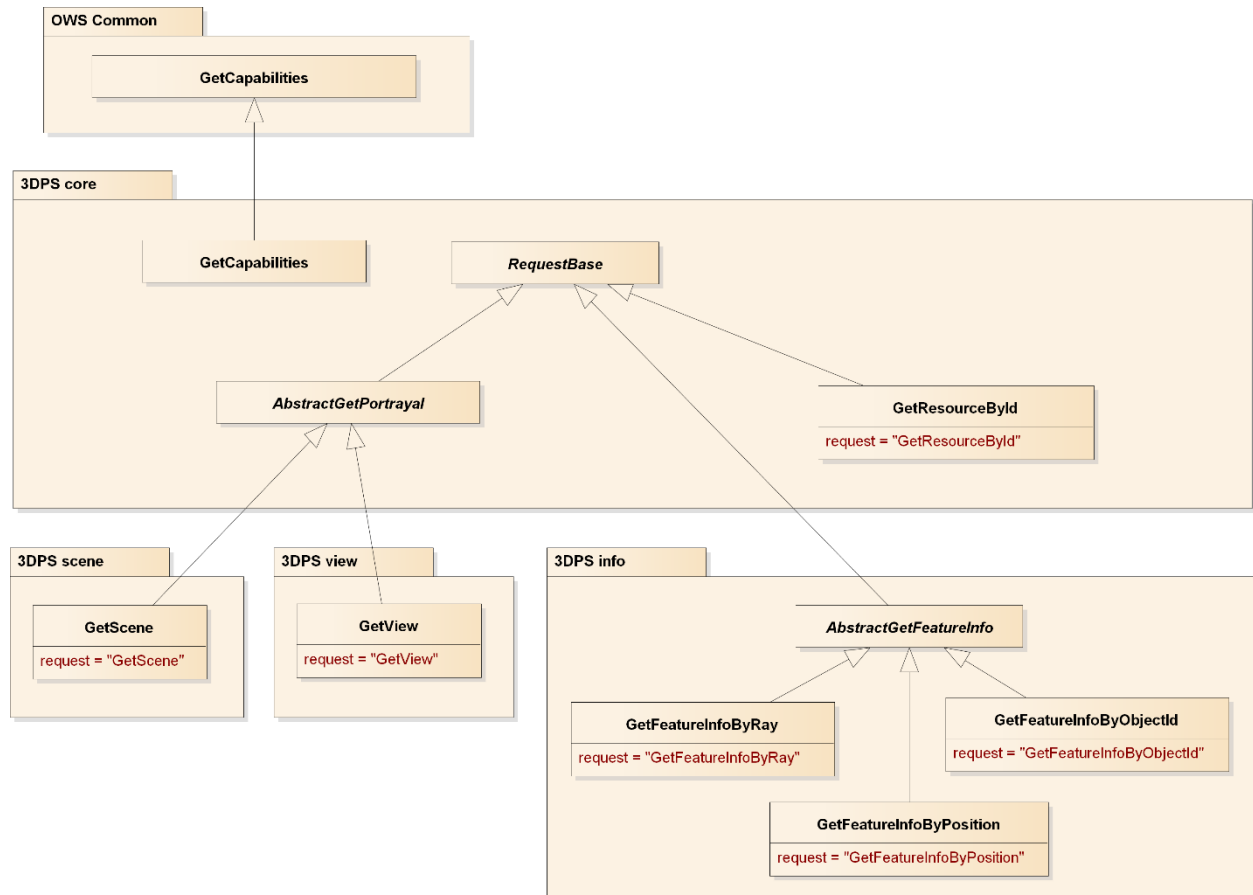


Abbildung 27: UML-Klassendiagramm von 3DPS (Quelle: <http://docs.openeospatial.org/is/15-001r4/15-001r4.html>)

Für die Realisierung von 3D-Bilddiensten könnte die 3DPS View Extension mit der Operation GetView genutzt werden. Mit GetView kann ein Client ein gerendertes Bild einer 3D-Szene in einem Standard-Bildformat anfordern. Die Operation ist somit gedacht für die Lieferung von Ansichten einer virtuellen Szene, die serverseitig generiert und anschliessend übermittelt wird. Dabei soll der Betrachtungsstandort möglichst frei gewählt werden können. GetView liefert jedoch nicht nur ein RGB-Bild einer Szene. Über GetView können weitere Bild-Layer angefordert werden, z.B. der Layer «Depth» mit der Tiefeninformation für jedes Pixel, der Layer «ObjectId» mit einem Identifikator pro Pixel für das abgebildete Objekt in der ursprünglichen 3D-Szene sowie etwa der Layer «Normal» mit den Flächennormalen für jeden Objektpunkt.

Im Falle von 3D-Bilddiensten könnte die GetView-Funktion zur Übermittlung von 3D-Bildern an 3DPS-kompatible Clients genutzt werden. Dazu könnte das eigentliche Bild im GetView-Layer «Color» und die entsprechende Tiefenkarte im Layer «Depth» übermittelt werden.

Der heutige 3DPS Standard vermag allerdings die folgenden wichtigen Aspekte noch nicht oder nur ansatzweise abzudecken:

- **Vordefinierte Betrachtungsstandorte** – 3D-Bilddienste enthalten Bilddaten mit fixen Betrachtungsstandorten. Bei einer Nutzung von 3DPS müsste somit eine vorgängige Opera-

tion «GetPredefinedView» verfügbar sein, welche die Position und Ausrichtung eines optimalen Bilds für den gewünschten Betrachtungsstandort liefert. Das Ergebnis dieser Query könnte anschliessend als Input für den eigentlichen GetView-Aufruf genutzt werden.

- **Kachelung und Mehrfachauflösung** – 3DPS ist zurzeit nicht für die Anfrage von Sub-Bildern auf wählbaren Auflösungsstufen ausgelegt, d.h. der Standard liefert mit jeder Anfrage das gesamte Bild für das gewünschte Blickfeld. Die Auflösung moderner Erfassungssensoren und der resultierenden 3D-Bilder erfordert jedoch zwingend einen Support für Tiling und Mehrfachauflösung. Hier ist zu erwarten, dass der Standard in einer zukünftigen Fassung entsprechend erweitert werden könnte, da 3DPS grundsätzlich auch für das Rendering grosser Szenen oder Panoramen geeignet wäre.

8 Wirtschaftliche Aspekte

In der Folge werden zunächst die wichtigsten Schlüsselmärkte und Treiber im Bereich der Digitalen Realitäten identifiziert und diskutiert. Anschliessend werden Nutzen, Anwendungsmöglichkeiten, Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen aufgezeigt, welche sich aus einem Einsatz von 3D-Bilddiensten ergeben.

8.1 Digitale Realitäten: Schlüsselmärkte und Treiber

Die Themen «Reality Capturing» und «Digitale Realitäten» sind bereits heute in verschiedenen Industrien und Märkten von praktischer Bedeutung und dürften dort zukünftig zu unverzichtbaren Schlüsselementen werden. Diese Märkte reichen vom Hoch- und Tiefbau bis hin zum Reality-based Gaming und zur Film-Industrie.

Aus Sicht der Geoinformationsbranche besonders relevant sind Anwendungsbereiche mit einem Bedarf nach Georeferenzierung, Flächendeckung, Aktualisierung und Anbindung an raumbezogene Informationssysteme. Dies trifft auf die folgenden drei Industrien und **Schlüsselmärkte** in besonderem Masse zu:

- **Öffentliche Infrastruktur** / Urban Planning / Smart City
- **Gebäudeinformation** / Indoor Mapping
- **Autonomes Fahren** / Autonome Navigation

Allen drei Märkten gemeinsam ist deren Relevanz für das aktuelle bzw. zukünftige Funktionieren moderner Gesellschaften sowie das damit verbundene enorme Marktvolumen. Die ersten beiden Anwendungsfälle öffentliche Infrastruktur und Gebäudeinformation stehen im Zentrum dieser Studie und werden in der Folge ausführlich diskutiert.

Aufgrund der enormen zukünftigen Bedeutung lohnt sich jedoch eine Gegenüberstellung mit dem neuen entstehenden Markt «Autonomes Fahren / Autonome Navigation», da dieser das grundsätzliche Potential hätte, auch gewisse Bedürfnisse der Anwendungsfälle Infrastruktur und Gebäudeinformation abzudecken.

Karten für autonomes Fahren und autonome Navigation

Mit der rasenden Entwicklung autonomer Fahrzeuge steigt der Bedarf nach einer 3D-Kartenbasis für die autonome Navigation enorm. Obwohl die Meinungen über die langfristige Bedeutung und Entwicklung solcher 3D-Karten auseinandergehen, arbeiten zurzeit mehrere globale Player am Aufbau globaler, hoch aufgelöster, sogenannter «HD Base Maps» für die autonome Navigation. Zu diesen globalen Playern gehören: HERE Maps, als Tochter eines grossen Konsortiums

von Automobilherstellern; Google; Uber; neuerdings auch Apple etc. Diese Unternehmen erfassen die HD 3D-Karten systematisch mit ganzen Flotten von Messfahrzeugen – zukünftig wohl flächendeckend.

Die wichtigsten Merkmale und Unterschiede von HD Base Maps und den 3D-Bilddiensten dieser Studie sind:

- HD Maps sind **Karten für Maschinen**; eine allfällige Interpretation oder sogar interaktive Nutzung durch Menschen steht nicht im Vordergrund
- HD Maps und die darauf aufbauende Navigation basieren schwergewichtig auf einer laufend aktualisierten **semantischen 3D-Punktwolke**; eine exakte metrische Kohärenz der 3D-Information mit allfälligen Bilddaten steht nicht im Vordergrund
- HD Maps legen den **thematischen Fokus auf Mobilität** und Navigation und den räumlichen Fokus auf den Strassenraum; die Thematik der nicht verkehrsbezogenen Infrastruktur hat zurzeit eine tiefe Priorität
- HD Maps müssen vor allem aktuell sein; aus heutiger Sicht ist **keine Historisierung** vorgesehen (d.h. ein historisches Gedächtnis im Stil von «wie sah dieser Strassenzug oder dieser Platz vor 10 Jahren aus» ist für HD Maps nicht relevant

Die weiteren Ausführungen dieser Studie beziehen sich ausschliesslich auf die beiden Anwendungsfälle öffentliche Infrastruktur (Fokus Aussenraum) und Gebäudeinformation (Fokus Innenraum).

8.2 Anwendungsmöglichkeiten und –beispiele

Die folgende eingeschränkte Auswahl an Anwendungsbeispielen soll das bereits vorhandene Anwendungsspektrum und das noch nicht erschlossene Anwendungspotential illustrieren:

- **Virtuelle Feldbegehungen** – Cloudbasierte 3D-Bilddienste ermöglichen dank ihrer Realitätstreue, ihrem Detailreichtum und der intuitiven Bildinterpretation rasche und effiziente virtuelle Feldbegehungen und Projektbesprechungen im Büro oder in Videokonferenzumgebungen. Dieser einfache und zugleich sehr wirkungsvolle Anwendungsfall erspart gerade in Organisationen mit einem städtischen, regionalen oder überregionalen Einzugsgebiet zahlreiche physische Feldbegehungen.
- **Kartierung und Inventarisierung** – 3D-Bilddienste ermöglichen eine sehr einfache und effiziente Kartierung von Geoobjekten im sichtbaren Bereich. Dazu gehören beispielsweise die Inventarisierung von sichtbaren Infrastrukturelementen, von Strassenmöblierung oder etwa von See- oder Flussufern und den anstossenden Objekten.
- **Vollständigkeits- und Genauigkeitskontrolle** – bestehender (2D-) Geodatensätze, z.B. Abgleich mit sichtbaren Elementen wie etwa Schächten etc.
- **Überführung von 2D-Geodatensätzen in 3D** – Nutzung von 3D-Bilddaten als Ausgangspunkt bzw. Basis beispielsweise für die Realisierung von 3D-Leitungskatastern mit automatischer Projektion auf die Geländeoberfläche und automatischer Bestimmung von Schachthöhen.
- **Aktualisierung, Nachführung** sowie **gezielte Verbesserung** von Geobasisdaten (z.B. Ebene Bodenbedeckung) oder DGM sowie von Anwendungsdaten

- **Automatische Informationsextraktion** – Aufgrund der raschen Fortschritte in der automatischen Extraktion von Objekten und Eigenschaften aus Bild- und LiDAR-Daten können einige Objektklassen bereits vollautomatisch andere zumindest teilautomatisch extrahiert werden. Zu den Beispielen gehören die automatisierte Ableitung des visuellen Strassenzustands (z.B. Ebenheitsparameter oder sichtbare Belagsschäden), die automatisierte Verbesserung von Höhenmodellen entlang von Verkehrskorridoren und Flussufern, die zunehmend automatisierte Ableitung von hoch detaillierten, realitätsgetreuen 3D-Stadtmodellen sowie von 3D-Innenraummodellen.
- **Projektvisualisierungen in der digitalen Realität** – Georeferenzierte 3D-Bilddaten werden eine völlig neue Qualität von Projektvisualisierungen in einer realitätsgetreuen Umgebung erlauben. So ermöglicht es die dichte Tiefeninformation, Bildbereiche gezielt und hoch effizient zu maskieren und so geplante Projekte in eine sehr realitätsnahe Umgebung zu integrieren. So könnten zum Beispiel geplante Neubau- oder Umbauprojekte derart visualisiert werden, dass bestehende Vegetation und Gebäude sowohl vor als wie auch hinter den neuen Objekten erhalten bleiben.
- Möglicher zukünftiger Ersatz bestehender vektorieller Themen der AV (z.B. Bodenbedeckung) mit einer automatischen Ableitung im Bedarfsfall.

Anwendungsbeispiele im Aussenbereich

Die nachfolgende kleine Auswahl an Praxisbeispielen illustriert das enorm breite und stetig wachsende Einsatzspektrum von 3D-Bilddiensten:

- Erfassung und Kontrolle von Grundlagedaten für Projektierungsarbeiten
- Kartierung und Inventarisierung von Verkehrsinfrastrukturobjekten
- Datenerfassung und -analyse für Verkehrssicherheitsmassnahmen
- Erfassung, Kontrolle und Ergänzung von Leitungskatasterdaten (inkl. automatische Ableitung von 3D-Schachthöhen)
- Lagekontrolle und Bereinigung von Liegenschaftsgrenzen und Bodenbedeckung in der Amtlichen Vermessung
- Analyse von Sondertransportrouten und Lichtraumprofilen (Tomographie) im Strassen- und Bahnbereich



Abbildung 28: Erfassung und Kontrolle von **Grundlagedaten** und DHM für die Projektierung (Basler & Hofmann AG)

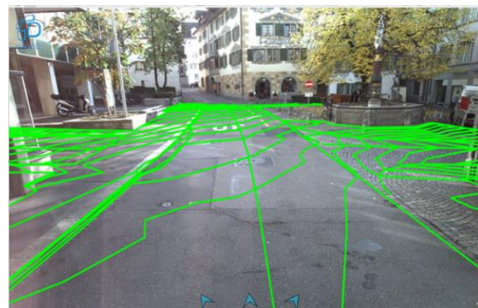


Abbildung 29: Erarbeitung **Planungsgrundlagen** für eine neue Tramlinie (GeoZ Zürich)

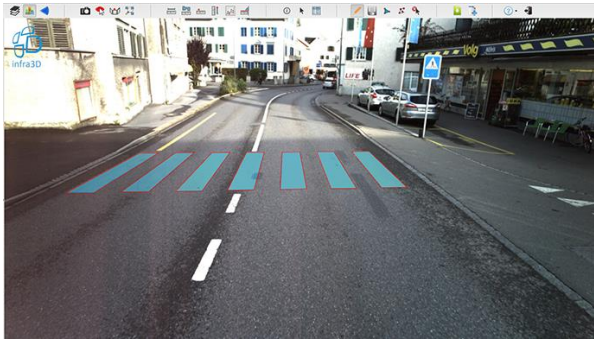


Abbildung 30: **Geodatenkartierung und Inventarisierung** am Beispiel der Erfassung und Signalisation und Markierung der Stadt Basel (KOPA Laufenburg)



Abbildung 31: **Verkehrssicherheit / Erstellung Fussgängerstreifeninventar** zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit (Kanton Aargau)



Abbildung 32: **Leitungskataster – Augmentierung / Visualisierung und Kontrolle von Leitungskatasterdaten** sowie Möglichkeit zur 3D-Attributierung der Oberflächenelemente

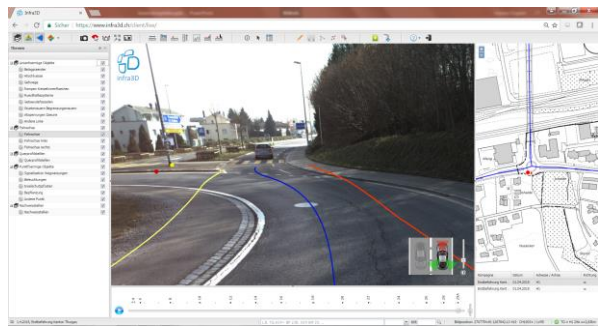


Abbildung 33: **Analyse von Sondertransportrouten inkl. automatisierter Nachweisführung** in Form von Querprofilen und vermashten kritischen Punkten (Kanton Thurgau)

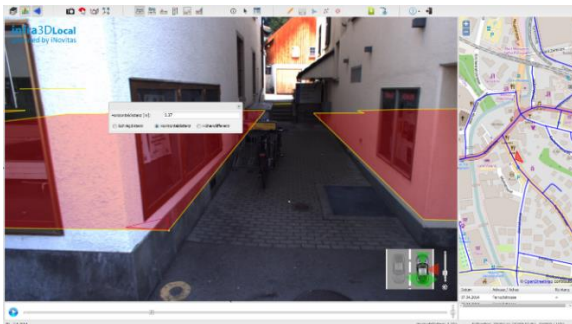


Abbildung 34: **AV – Lagekontrolle und Bereinigung von Liegenschaftsgrenzen** aus prov. Numerisierung in der Gemeinde Rütli ZH (Ingesa Oberland AG) (Neukom & Schnyder, n.d.)

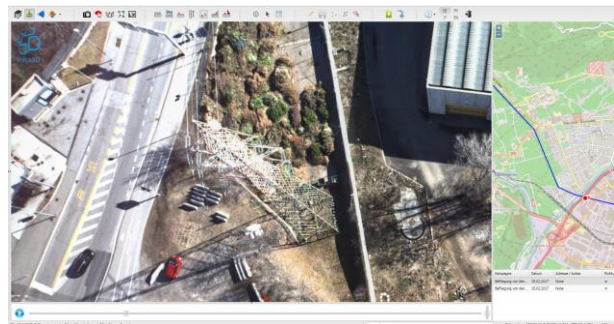


Abbildung 35: **Luftgestützte metrische Dokumentation, Inventarisierung und Inspektion von Stromleitungen, Verkehrskorridoren und Infrastruktur** (Edyna GmbH / iNovitas Italia s.r.l.)

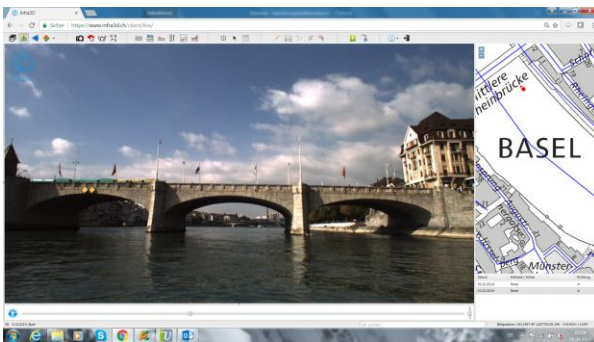


Abbildung 36: **Metrische 3D-Dokumentation von Uferzonen und Flussbauten** (Kanton BS)

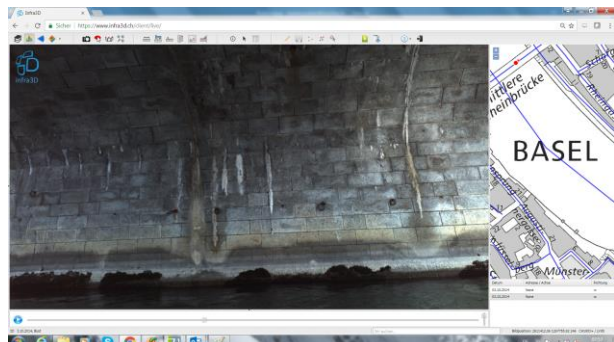


Abbildung 37: **Metrische 3D-Dokumentation von Brücken und anderen Flussbauwerken** (Kanton BS)

Anwendungsbeispiele im Innenbereich

Ein grosses und noch völlig unerschlossenes Potential von 3D-Bilddiensten liegt in der effizienten, realitätsgetreuen, benutzerfreundlichen digitalen 3D-Dokumentation von Gebäuden. Erste Anwendungsbeispiele in diesem Kontext sind:

- **3D-Bauwerksdokumentation**, Baufortschrittskontrolle und Schadensdokumentation
- **Building Information Management** – Realisierung realitätsbasierter digitaler 3D-Gebäudemodelle und 3D-Dienste für:
 - Facility Management
 - Projektierung von Umbauten oder Umnutzungen
 - Aufbau eines BIM (Building Information Models)
- Bildbasierte metrische **3D-Dokumentation von Stockwerkeigentum** (vgl. Objektkatalog Stockwerkeigentum in der Amtlichen Vermessung)

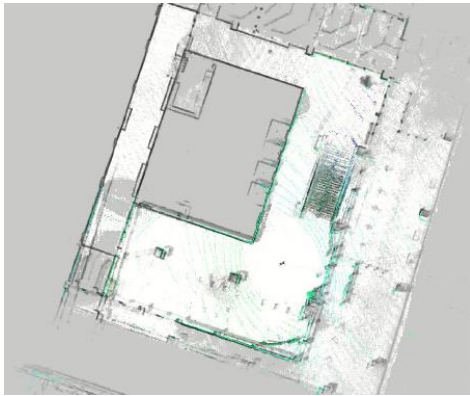


Abbildung 38: Echtzeitkartierung eines Gebäudes mit portablem Mobile Mapping System (BIMAGE CapturePro) (vgl. Abbildung 7)

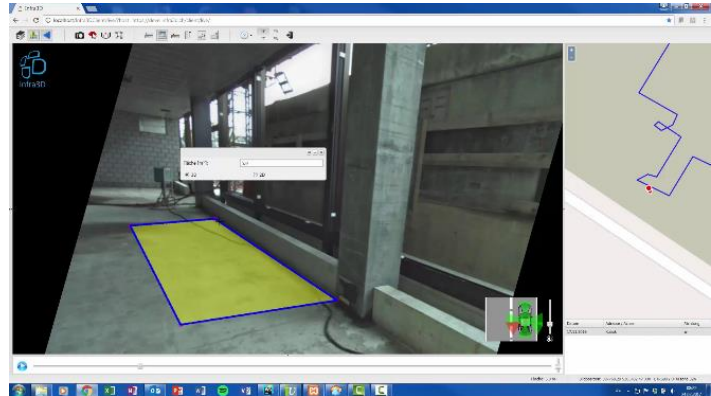


Abbildung 39: Prototyp eines Cloud-basierten Building Information Managements auf der Basis eines 3D-Bilddienstes: Web-Client mit Messfunktionalität (Projekt BIMAGE, IVGI FHNW)

8.3 Nutzen

Cloudbasierte 3D-Bilddienste werden bereits heute für die vielfältigsten Anwendungen genutzt. Mit einer Normierung und Definition eines Datentyps «3D-Bild» könnte dieser Nutzen nochmals deutlich gesteigert werden. So liesse sich auf dieser Basis eine «digitale Realität» sämtlicher Verkehrs- und Infrastrukturkorridore sowie der Siedlungsräume schaffen, die in der Form von 3D-Geobasisdatensätzen und Services genutzt werden kann.

Der Nutzen ergäbe sich dabei aus einer Reihe von Faktoren. Zu diesen gehören:

- Die **Anwendungsneutralität**, welche einen Einsatz für alle erdenklichen Anwendungen offen lässt.
- Die Eignung für Anwendungen im **Outdoor- und Indoor-Bereich**, inkl. Kunstbauten (Tunnels, Brücken, Unterführungen, Galerien etc.).
- Eine effiziente, hoch automatisierte und **kostengünstige Datenerfassung**, was regelmässige Datenaktualisierungen ermöglicht und in Kombination mit heutigen kostengünstigen Speicherkapazitäten auch eine Historisierung der digitalisierten Umwelt erlaubt.

- Die Möglichkeit zur massiven Steigerung der **Informationsdichte und Aktualität**, insbesondere in Bereichen hoher Wertschöpfung (z.B. entlang von Verkehrs- und Infrastrukturkorridoren sowie im Stadtraum und in Gebäuden).
- Eine vollständige Basierung auf **Cloud-Technologien**, die einen kostenintensiven Aufbau von dezentralen IT-Infrastrukturen vermeidet, eine Nutzung mit Standard-Clients (z.B. Webbrowser) ermöglicht sowie eine hohe Verfügbarkeit und Skalierbarkeit bezüglich Datenmengen und Nutzerzahlen gewährleistet.
- Die Möglichkeit zur **Verlagerung zahlreicher Inspektions- und Messaufgaben vom Feld ins Büro** aufgrund der Benutzerfreundlichkeit von 3D-Bilddaten, des enorm hohen Detailreichtums und der Realitätstreue und der hohen relativen und absoluten geometrischen Genauigkeiten.
- Damit verbunden eine gewisse **«Demokratisierung der Geodatenerfassung und -aktualisierung»** durch die Verschiebung zahlreicher Erfassungs- und Inventarisierungsaufgaben von Vermessungsfachleuten hin zu den Spezialistinnen und Spezialisten für die verschiedenen Fachthemen (Verkehrssicherheit, Signalisierung, Projektierung, LK, AV etc.).
- Eine **Effizienzsteigerung** durch eine deutliche Vereinfachung und Beschleunigung verschiedener 2D- 3D-Messaufgaben, z.B. Bestimmung von Höhen und Höhendifferenzen, Ablotungen, Bestimmen von parallelen Abständen etc.
- Die Möglichkeit zur **Integration** in bestehende GIS-Lösungen und die Gewährleistung einer **Komplementarität** zu bestehenden Geobasisdaten, z.B.:
 - zu bisherigen vektoriellen Datensätzen des DM.01
 - zum Orthophoto – als flächendeckendem realitätsnahem 2D-Datensatz und Abdeckung von Bereichen, die aus der Luft oft schlecht oder gar nicht einsehbar sind
 - zum DTM-AV bzw. swissALTI3D – als flächendeckendem Höhendatensatz: Steigerung der DHM-Genauigkeit und -Detailtreue in kritischen / wichtigen Bereichen: im urbanen Raum, entlang Verkehrs- und Gewässernetzen

8.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit jeder Geoinformationslösung ist stark abhängig vom Anwendungsfall und zahlreichen weiteren Parametern. Gespräche mit Auftraggebern erster 3D-Bilddienste beziffern den wirtschaftlichen Nutzen wie folgt:

- Kosteneinsparungen: 30-60%
- Zeitersparnis: bis zu 70% (z.B. durch wegfallende Feldbegehungen)

Die Wirtschaftlichkeit soll anhand der folgenden zwei Beispiele konkretisiert werden.

Der Kanton Aargau hat mit Hilfe von 3D-Bilddaten eine «digitalisierte Kantonsstrasse» realisiert (Meier & Humbel, 2016). Dabei wurde das gesamte Kantonsstrassennetz mit einer Länge von 1200 km inkl. 4000 Kunstbauten (Brücken, Tunnel, Stützmauern) erfasst. Der 3D-Bilddienst umfasst mittlerweile zwei vollständige Zeitstände und wird von über 300 berechtigten Usern genutzt. Meier und Humbel (2016) beschreiben folgende Anwendungsfälle

- Anwendungsfall 'Virtuelle Feldbegehungen': 30-40 virtuelle Feldbegehungen pro Tag mit steigender Tendenz. Ein substantieller Anteil davon ersetzt physische Feldbegehungen verbunden mit Transportkosten und Zeitaufwand.

- Anwendungsfall ‘Datenbeschaffung Strassenbau – Projektierungsgrundlagen’: Einsparpotential 30% gegenüber klassischer Aufnahme z.B. mit UAV-Vermessung; vergleichbare Genauigkeit; massive Reduktion der Feldaufnahmen; minimale Intervention im Strassenraum und kaum Behinderung des Verkehrsflusses; Steigerung der Arbeitssicherheit
- Anwendungsfall ‘Inventarisierung’: automatische Extraktion, Positionierung, Kategorisierung und Achszuweisung; daraus Ableitung von Geschwindigkeitsabschnitten etc.

Zusätzlich zur ausgewiesenen Wirtschaftlichkeit im Vergleich mit bisherigen Verfahren, kommen laut Meier und Humbel (2016) neue interessante Anwendungsmöglichkeiten hinzu, wie etwa die Dokumentation für Rechtsfälle im Strassenraum, neu auch die Historisierung des sich rasch verändernden Strassenraums sowie zahlreiche Anwendungsfälle für Arbeiten durch externe Projektpartner (z.B. Sicherheitsanalysen oder Projektierungen) auf der identischen Datenbasis.

Die Geomatik + Vermessung Stadt Zürich (GeoZ) hat die Wirtschaftlichkeit von 3D-Bilddaten und -Diensten am Beispiel einer umfangreichen Projektierung beurteilt. Die mobil erfassten 3D-Bilddaten und ein 3D-Bilddienst wurden zur Erzeugung von Projektierungsgrundlagen für eine neue Tramlinie im innerstädtischen Raum eingesetzt. U.a. wurde der Dienst zur Generierung eines sehr detaillierten digitalen Höhenmodells für die Projektierung eingesetzt. Als Vorteile werden angeführt: grosse zeitliche und finanzielle Ersparnisse, eine optimale Methodik für Grundlagedatenerfassung, die Beschleunigung des Arbeitsprozesses, minimale Verkehrsstörung sowie eine massive Verbesserung der Arbeitssicherheit. Die Kostenersparnis gegenüber konventionellen Verfahren wurde in diesem Projekt auf 60%, die Zeitersparnis sogar auf 70% geschätzt.

9 Organisatorische Aspekte

Nachfolgend werden typische Prozesse und mögliche Rollen im Zusammenhang mit der Realisierung, dem Betrieb und der Nutzung von 3D-Bilddiensten aufgezeigt. Zudem werden mögliche Akteure identifiziert, die rechtlichen Rahmenbedingungen aufgezeigt sowie erste Vorschläge für eine mögliche Umsetzung gemacht.

9.1 Prozesse und Rollen

Aus heutiger Sicht umfassen ein 3D-Bilddienst als Geobasisdienst oder eine Sammlung von 3D-Bilddiensten die folgenden möglichen Prozesse und Rollen:

- **Organisatorischer Betrieb** von 3D-Bilddiensten als **digitale Basisinfrastruktur**
- **Technischer Betrieb / Hosting** der digitalen Basisinfrastruktur
- **Ersterfassung** / Neuerfassung der Daten des Basisdienstes
- **Nachführung** / Aktualisierung der Daten des Basisdienstes
- Realisierung / Anbieten von **Zusatzdiensten** aufbauend auf den Basisdiensten (z.B. 3D-Bilddienst mit der Integration ausgewählter Fachthemen)
- **Entwicklung** / Vertrieb von Erweiterungen und Schnittstellen (für GIS- / BIM-Systeme, Web-Clients etc.)
- **Datenveredelung / Informationsextraktion** unter Nutzung der Basisdienste
- **Datennutzung** durch berechtigte Benutzer/innen (evtl. durch die Öffentlichkeit)
- Evtl. **Koordination** von verteilten Basisdiensten (Bund, Kanton, Städte)

9.2 Akteure

Bereits heute haben Akteure aus verschiedenen Anwendungsbereichen und mit verschiedenen Organisationsformen 3D-Bilddienste beauftragt und im produktiven Betrieb. Dabei spielten Akteure aus der Amtlichen Vermessung bisher eher eine untergeordnete Rolle. In der folgenden Tabelle sind typische Akteure aufgeführt, einerseits unterteilt nach Organisationsform (öffentliche Hand und Private) und Rolle und andererseits nach Themen bzw. Einsatzbereich:

Bereich Organisation	Tiefbau / Infrastruktur / Verkehr	Amtliche Vermessung / Geoinformation	Hochbau
Bund	ASTRA SBB	Swisstopo Eidgenössische Vermessungsdirektion	Bauherr (Bund)
Kantone	Tiefbauämter	Grundbuch- und Vermessungsamt / GIS-Fachstelle	Bauherr (Kanton)
Gemeinden	Gemeindeingenieure	Stadtvermessung	Bauherr (Gemeinde)
Private (Kunden)	Privatbahnen (BLS, RhB, etc.) Infrastrukturbetreiber, z.B. Strom, Gas, Wasser		Immobilien-Unternehmungen, Baufirmen / Generalunternehmer, Versicherungen etc.
Private (Dienstleister / Veredler)	Ingenieur- und Planungsfirmen	Ingenieur-Geometer	Geomatik- & BIM-Dienstleister
Private (Anbieter 3D-Dienste)	3D-Dienstanbieter / Spezialfirmen		

9.3 Denkbare Betriebsmodelle

Bei der Realisierung von regionalen oder nationalen 3D-Bilddiensten sind verschiedene Betriebsmodelle denkbar. Je nach Ausprägung dürfte der Amtlichen Vermessung eine wichtige oder eine eher untergeordnete Rolle zukommen. In der folgenden Tabelle werden mögliche Betriebsmodelle skizziert, allfällige wichtige Fragen formuliert und die mögliche Bedeutung und Rolle der Amtlichen Vermessung aufgezeigt.

Betriebsmodell	Bemerkungen / offene Punkte	Bedeutung / Rolle AV
Zentraler 3D-Bilddienst (Bundesportal)	Abgrenzung zu kantonalen und kommunalen Diensten? Bedarfsgerechte NF? Zielsetzung / Auftrag?	Eher gering / wenig Normierungsbedarf

Föderale Dienste (zentraler Zugang)	Betrieb eines zentralen Service Registry / normierte Services	Hoch
Föderale Dienste (dezentraler Zugang)	= heutiger Stand / Nutzung nur durch Betreiber	Gering
PPP (Public Private Partnership)	Zu definierende Aufgabenteilung / Normierung als Basis	Hoch (Normierung, Schnittstellen etc.)
Privater Dienstanbieter (z.B. Google)	Einfluss auf Funktionalität, Nachführung, Qualität, Historisierung, Nachhaltigkeit etc.?	Keine

9.4 Die Amtliche Vermessung und das 3D-Bild

Wie oben aufgeführt, stand die eigentliche Amtliche Vermessung bei bestehenden 3D-Bilddiensten bis heute nur selten im Vordergrund. Kantonale Vermessungsämter waren jedoch in verschiedenen Kantonen aktiv in die Realisierung von 3D-Bilddiensten involviert oder hatten sogar eine federführende Rolle (z.B. Kanton BS). Im Sinne eines Diskussionsbeitrags werden in der folgenden Übersicht typische Prozesse im Zusammenhang mit Realisierung, Betrieb und Nutzung von 3D-Bilddiensten sowie Anwendungen aufgeführt.

Legende:

B	Bund (Eidg. Vermessungsdirektion)	K	Kantone
P	Private	X	zutreffend (ohne Festlegung Akteure)

Prozesse	Bedeutung und Potential der Amtlichen Vermessung		
	hoch	mittel	gering
Normierung 3D-Datentyp	B (Lead)		
Koordination nationaler und kantonaler Dienste	B, K		
Realisierung & Betrieb von 3D-Basisdiensten		B, K	
Realisierung und Betrieb von Zusatzdiensten		P	
Anwendungen			
Dienstleisterin für regionale 3D-Bilddienste	P	P	
Nachführung Bodenbedeckung auf Basis 3D-Bilddienste	P		
Lagekontrolle und Bereinigung von Liegenschaftsgrenzen und Bodenbedeckung in der Amtlichen Vermessung	X		

Erfassung, Kontrolle und Ergänzung von Leitungskatasterdaten (inkl. autom. Ableitung von 3D-Schachthöhen)	X		
Erfassung von Grundlagedaten für Projektierungsarbeiten		X	
Kartierung / Inventarisierung Verkehrsinfrastrukturobjekte			X
Datenerfassung und -analyse für Verkehrssicherheitsmassnahmen			X
3D-Bauwerksdokumentation	P		
Dokumentation Stockwerkeigentum (abhängig von der realisierten gesetzlichen Lösung)	P		

9.5 Rechtliche Aspekte

Die Problematik von Bildaufnahmen im öffentlichen Raum betrifft aus Sicht der Geoinformationsbranche nicht nur Aufnahmen von Mobile Mapping Systemen sondern sämtliche modernen Messsysteme mit Bildsensoren, wie zum Beispiel terrestrische Laserscanner, moderne Tachymeter oder Drohnen. Diese Studie soll für die Datenschutzthematik im Zusammenhang mit Bildaufnahmen im öffentlichen Raum sensibilisieren. Sie erhebt aber keinen Anspruch auf eine juristisch fundierte Beurteilung. Eine solche wäre in einer gesonderten Studie auszuarbeiten.

Im Zentrum der Überlegungen steht das Recht am eigenen Bild, das in der Schweiz als Teil des allgemeinen Persönlichkeitsrechts verstanden wird und im Zivilgesetzbuch sowie im Bundesgesetz über Datenschutz (DSG, SR 235.1) geregelt ist. Bei Aufnahmen im öffentlichen Raum wird unterschieden, ob die Aufnahmen für die Anwesenden gut erkennbar und die Abgebildeten Personen nur «Beiwerk» darstellen (z.B. Passanten vor Sehenswürdigkeiten). In diesen Fällen ist es ausreichend, wenn das entsprechende Bild auf Verlangen der fotografierten Person gelöscht oder auf eine Veröffentlichung verzichtet wird. Die betroffenen Personen müssen jedoch nicht zusätzlich angesprochen und informiert werden. (<https://www.edoeb.admin.ch/datenschutz/00627/01167/index.html?lang=de>)

Systematische Bildaufnahmen im öffentlichen Raum werden oft als Personendaten betrachtet und unterstehen grundsätzlich dem Datenschutz. Dabei kommen für Private und Bundesbehörden das Bundesgesetz über den Datenschutz (DSG, SR 235.1) und für kantonale Verwaltungen das jeweilige kantonale Datenschutzrecht zur Anwendung. Gemäss DSG Art. 4, Abs. 3 dürfen Personendaten nur zu dem Zweck bearbeitet werden, der bei der Beschaffung angegeben wurde, aus den Umständen ersichtlich oder gesetzlich vorgesehen ist. Zudem dürfen gemäss DSG Art. 17, Abs. 1 Organe des Bundes Personendaten nur bearbeiten, wenn dafür eine gesetzliche Grundlage besteht.

Wegweisenden Charakter hat der Bundesgerichtsentscheid zu Google Street View (BGE 138 II 346). Wichtige Erkenntnisse für ähnliche Bilddienste sind den Erläuterungen des Eidgenössischen Datenschutz- und Öffentlichkeitsbeauftragten (EDÖB) zu entnehmen: <https://www.edoeb.admin.ch/datenschutz/00683/00690/00694/01109>. Zu den zentralen Elementen des Bundesgerichtsentscheids gehören: die Forderung nach einer **vollständigen Anonymisierung** mit folgenden Präzisierungen. Punkt 14: eine akzeptable Fehlerquote von 1%; Punkt 14.1: die automatische Anonymisierung muss laufend dem aktuellen Stand der Technik angepasst werden; Punkt: 14.2. höhere Anforderungen im Bereich sensibler Einrichtungen wie Frauenhäuser, Altersheime, Gefängnisse, Schulen, Gerichte, Spitäler; Punkt: 14.3.: eine max. Kamerahöhe für

Aufnahmen von Privatbereichen von 2 m über Grund; Punkt 14.4: eine manuelle Anonymisierung auf Anzeige von Betroffenen hin & Bekanntmachung der Widerspruchsmöglichkeit über einen Link «Anonymisierung verlangen». Zudem wird eine Information in den Medien über bevorstehende Aufnahmen und Aufschaltungen von Bildern verlangt (Punkte 10.6.3, 11 und 14.4).

Für die Realisierung kantonaler Bilddienste gelten die kantonalen Datenschutzvorschriften. Dementsprechend erfolgte die Realisierung bisheriger kantonaler 3D-Bilddienste (z.B. Kanton BS und BL) unter frühzeitigem Einbezug der kantonalen Datenschutzbeauftragten und mit vorgängiger Anpassung kantonaler Verordnungen (KGeoIV BL, VOAV BS). So wurde beispielsweise im Kanton BS die Verordnung zur amtlichen Vermessung um den §8, Abs. 3 mit folgendem Wortlaut ergänzt:

- "Das Grundbuch- und Vermessungsamt kann Strassen- und Luftaufnahmen zur Dokumentation und Vermessung von Objekten im öffentlichen Interesse erfassen. Es kann die Luftaufnahmen der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen sowie die Strassenaufnahmen anderen öffentlichen Organen für die Erfüllung ihrer gesetzlichen Aufgabe in anonymisierter Form bereitstellen."
- Ergänzung: Die Anonymisierung beinhaltet das Verwischen von Gesichtern und Autonummern. In sensiblen Bereichen (z.B. Sucht, Psychiatrie) wird eine verstärkte Anonymisierung verlangt.

9.6 Umsetzung

Erste Empfehlungen für eine Umsetzung umfassen die folgenden Schritte:

- **Inventarisierung** bestehender 3D-Bilddienste auf Stufen Bund, Kantone und Gemeinden (Betreiber, Inhalte, Zugriffsregelung, gesetzliche Basis etc.)
- Erarbeitung eines **Datenmodells** für 3D-Bilddaten bzw. von Services für 3D-Bilddienste
- Erarbeitung eines **Betriebs- und Finanzierungskonzepts**
 - Wer koordiniert (z.B. Service Discovery, Datenzugriff, Datennutzung)
 - Integration bestehender Dienste (organisatorisch, technisch)
 - Finanzierung Betrieb Basisdienst und Ersterfassung
 - Finanzierung und Organisation Nachführung / Neuerfassungen
 - Planung / Realisierung neuer Dienste: a) als Ersatz / Erneuerung bestehender Dienste oder b) komplementär zu bestehenden Diensten
- Prüfung & Umsetzung von **Realisierungsoptionen**
 - Nationale Koordination von 3D-Bilddiensten (Normung, technisch)
 - 3D-Bilddaten-Geobasisdienst des Bundes (nur Nationalstrassen)
 - 3D-Bilddaten-Geobasisdienst des Bundes mit gesamtem Strassennetz der Schweiz
 - Nationaler 3D-Bilddienst als PPP von Privaten, Bund und Kantonen
- Mögliche räumliche und thematische **Priorisierung** (Reihenfolge abhängig von Betriebs- und Finanzierungsmodell)
 - 1) Strassenräume (national / kantonale / kommunal)
 - 2) weitere Verkehrskorridore: Schiene, Seeufer / Flussläufe

- 3) Feld- und Waldwege
- 4) Innenräume Neubauten (vgl. 3D-Gebäudedokumentation & Stockwerkeigentum)
- 5) öffentlicher Gebäude

10 Beurteilung, Chancen, Risiken etc.

Nachfrage und Relevanz der Thematik

Der Trend zum grossräumigen und routinemässigen Reality Capturing und zur Schaffung digitaler Realitäten ganzer Gebäudekomplexe sowie ganzer Städte, Regionen und Länder ist real und mittlerweile unumkehrbar.

Die technologische Entwicklung wird durch die Automobil- bzw. Mobilitätsindustrie mit ihrem Business Case des Autonomen Fahrens angeführt und befeuert. Firmen aus diesen Bereichen sind schon heute wichtige und mächtige Akteure im Bereich Reality Capturing mit dem Anspruch, eine aktuelle detaillierte 3D-Karte für den gesamten Globus zu schaffen. Der Fokus dieser Akteure ist dabei die Modellierung des (öffentlichen) Strassenraums für autonome Mobilitätsanwendungen. Allerdings zeichnet sich bereits heute eine Vermarktung dieser Daten für andere Anwendungszwecke wie etwa Infrastrukturmanagement ab.

Demgegenüber besteht ein ebenso wichtiger Bedarf der Gesellschaft nach einer nachhaltigen und kosteneffizienten Werterhaltung der unterschiedlichsten technischen Infrastrukturen im öffentlichen Raum. Aus Sicht des Autors dürfte die moderne Gesellschaft und die öffentliche Verwaltung gut beraten sein, bei dieser volkswirtschaftlich enorm wichtigen und langfristigen Aufgabe eine vollständige Abhängigkeit von der privaten Mobilitätsindustrie zu vermeiden. Stattdessen sollte im öffentlichen Auftrag eine eigene digitale Realität für das Infrastrukturmanagement, für die Nachführung von Karten- und Planwerken, sowie die Modellierung und Analyse des (städtischen) Raums realisiert werden, um so auch die Basis für die zukünftige «Smart City» bzw. ein «Smart Country» zu legen.

Warum 3D-Bilddienste?

Der in dieser Studie vorgestellte 3D-Bilddatentyp und die darauf aufbauenden Dienste bieten ideale Voraussetzungen zur Schaffung und Nutzung von lokalen bis nationalen digitalen Realitäten. 3D-Bilddienste bilden bereits heute die Basis für ein breites Anwendungsspektrum in den Bereichen öffentliche Infrastruktur und Gebäudeinformation.

Für das 3D-Bild als primären Datentyp spricht dessen konkurrenzlos intuitive Interpretierbarkeit durch eine breite Nutzerschaft, die aus Nicht-Geomatik-Fachleuten besteht. Weitere Argumente wichtige sind die Vielfältigkeit der Nutzung, die Anwendungsneutralität sowie die einfache Erweiterbarkeit des Bild-Konzepts. Wichtige Gründe für 3D-Bilddienste sind deren hohe Wirtschaftlichkeit, die sich durch die weitgehend automatisierte Erfassung und Generierung, sowie deren Nachhaltigkeit, die sich aus einer regelmässigen Aktualisierung und Historisierung der Daten ergibt. Last but not least, zeichnet sich mit den aktuellen Entwicklungen im Bereich Machine Learning ein noch kaum abschätzbares Potential zur automatischen Extraktion von Objekten und zur zukünftigen Detektion von Veränderungen im öffentlichen Raum.

Warum die Geomatikbranche?

Was prädestiniert die Geomatikbranche im Allgemeinen und Akteure der Amtlichen Vermessung im Speziellen für die Realisierung und den Betrieb von 3D-Bilddiensten für den öffentlichen Raum, für technische Infrastrukturen und Bauten? Aus Sicht des Autors sind es u.a. die folgenden Alleinstellungsmerkmale, welche die Geomatikbranche von Akteuren der Mobilitätsbranche unterscheiden:

- Qualität – Ein ausgeprägtes Verständnis für Datenqualität bezüglich metrischer Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Vollständigkeit und Aktualität – als Voraussetzung für einen möglicherweise landesweiten Geobasisdatensatz. Zumal davon auszugehen ist, dass sich diverse Qualitätsanforderungen von denjenigen der Mobilitätsbranche unterscheiden werden.
- Nachhaltigkeit – Jahrzehntelange Erfahrung in der Schaffung, im Betrieb, der Pflege und Aktualisierung einer nachhaltigen Geodatenbasis – unabhängig von wirtschaftlichen Entscheidungen einzelner internationaler Firmen oder Konsortien.
- Landschaftsgedächtnis – Gewährleistung einer Historisierung der Daten im Sinne eines Gedächtnisses für den bebauten Raum als Erweiterung des bisherigen eher kleinmasstäblichen Landschaftsgedächtnisses mit historischen Luftbildern.
- Eigenbedarf – Die Geomatikbranche hat zahlreiche eigene Anwendungen und Produkte, die von 3D-Bilddiensten stark profitieren würden, so z.B. die Nachführung von Plan- und Kartenwerken, wie etwa den Landeskarten.
- Interoperabilität – Last but not least, ein Grundverständnis und eine jahrzehntelange Erfahrung mit der Interoperabilität von Geodaten und –diensten als Grundvoraussetzung für eine breite, anwendungs- und systemneutrale Nutzung der 3D-Bilddaten.

Chancen

Wie die zahlreichen Anwendungsbeispiele in dieser Studie aufzeigen, bieten ein neuer Datentyp «3D-Bild» und darauf aufbauende Geodienste, zahlreiche Chancen für die Geomatikbranche insgesamt, aber auch für die verschiedenen Akteure der Amtlichen Vermessung. Die AV könnte mit einer proaktiven Normierung, eine technologische Führungsrolle beanspruchen und diese auch legitimieren. Von einer solchen Normierung könnten zahlreiche Stakeholder im Umfeld öffentliche Infrastruktur, Stadtplanung, Hoch- und Tiefbau, Immobilien und Facility Management profitieren. Für Geomatikunternehmen bieten 3D-Bilddienste die Chance, neue Anwendungsbereiche zu erschliessen, insbesondere bei der 3D-Dokumentation von Bauwerken und von Stockwerkeigentum. Für diese Unternehmen bieten 3D-Bilddienste auch eine Chance, Teile ihrer bestehenden traditionellen Vermessungsangebote im Strassen- und Stadtraum in neue Dienstleistungen auf einer digitalen Basis zu überführen. 3D-Bilddienste bieten hier gute Möglichkeiten, auch neue Angebote zu entwickeln, die so bisher nicht möglich waren.

Risiken

Wie bereits mehrfach erwähnt, sind «Digitale Realitäten» bereits heute eine Realität und werden in Zukunft rapide an Bedeutung zunehmen. Abwarten und Abseitsstehen dürfte daher kaum eine Option sein. Bereits heute ersetzt die mobile Geodatenerfassung in Kombination mit Cloud-Diensten zahlreiche traditionelle Vermessungsaufgaben im Feld und verlagert diese an den PC-Arbeitsplatz im Büro. Geomatikunternehmen stehen vor der Herausforderung, diese digitale Transformation ihrer Angebote proaktiv anzugehen und dabei das bestehende fachliche

Knowhow zu nutzen oder zu riskieren, dass andere Anbieter diese Aufgaben übernehmen werden. Es ist zu erwarten, dass globale Akteure der Mobilitätsbranche, ihre digitalen Realitäten und Geodienste für andere Anwender und Unternehmungen öffnen werden. Deren Angebote haben jedoch einen anderen strategischen Fokus als etwa die öffentliche Infrastruktur oder rechtsverbindliche Vermessungen und Planungen. Daher würde ein alleiniges Abstellen auf solch globale Anbieter und deren Geodienste beträchtliche Abhängigkeiten und volkswirtschaftliche Risiken mit sich bringen.

11 Literatur

- Ackermann, R., & Studer, D. (2016). Stereo-Panorama-Aufnahmen im urbanen Raum - Untersuchungen mit einem neuen 360°-Stereo-Panoramasystem. Fachhochschule Nordwestschweiz. Retrieved from <http://www.fhnw.ch/habg/ivgi/bachelor/bachelor-thesis/bachelor-thesis-2016/bth12.pdf>
- Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L. and Weaver, J., 2010. Google Street View: Capturing the World at Street Level. *Computer (Long Beach, Calif)*. 43, pp. 32–38.
- Blaser, S., Nebiker, S., Cavegn, S., 2017. System Design, Calibration and Performance Analysis of a Novel 360° Stereo Panoramic Mobile Mapping System. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. IV-1/W1*, 207–213.
- Burkhard, J., Cavegn, S., Barmettler, A. & Nebiker, S., 2012. Stereovision Mobile Mapping : System Design and Performance Evaluation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, Melbourne, Australia, Vol. XXXIX, Part B5, pp. 453–458.
- Cavegn, S., Haala, N., Nebiker, S., Rothermel, M., Zwölfer, T., 2015. Evaluation of Matching Strategies for Image-based Mobile Mapping. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. II-3/W5*, 361–368. doi:10.5194/isprsannals-II-3-W5-361-2015.
- Cavegn, S., Nebiker, S. & Haala, N., 2016. A Systematic Comparison of Direct and Image-Based Georeferencing in Challenging Urban Areas. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, Prague, Czech Republic, Vol. XLI, Part B1, pp. 529–536.
- Cavegn, S. & Haala, N., 2016. Image-Based Mobile Mapping for 3D Urban Data Capture. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 82(12), pp. 925–933.
- Earthmine, 2014. Earthmine Mars Collection System. www.earthmine.com/html/products_mobile.html (27.3.17).
- Hexagon Geosystems, 2017. Leica Pegasus:Backpack Wearable Mobile Mapping Solution. <http://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus-backpack> (27.10.2017).
- Kantonale Verordnung über Geoinformation (KGeolV, 211.58) (2016). Liestal: Kanton Basel-Landschaft. Retrieved from <https://bl.clex.ch/frontend/versions/1618>
- Lehtola, V., Kaartinen, H., Nüchter, A., Kaijaluoto, R., Kukko, A., Litkey, P., Honkavaara, E., Rosnell, T., Vaaja, M., Virtanen, J.-P., Kurkela, M., El Issaoui, A., Zhu, L., Jaakkola, A., Hyypä, J., 2017. Comparison of the Selected State-Of-The-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Generation Methods. *Remote Sens.* 9, 796. doi:10.3390/rs9080796
- Lippman, A., 1980. Movie-maps: An application of the optical videodisc to computer graphics. *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.* 14, pp. 32–42.

- Meier, R. H., & Humbel, T. (2016). Factsheet: Ökonomische Aspekte infra3DRoad Service Kanton Aargau. Aarau.
- Musialski, P.; Wonka, P., Aliaga, D. G., Wimmer, M., Van Gool, L., Purgathofer, W., 2013. A survey of urban reconstruction. *Comput. Graph. Forum*, 32, 146–177.
- Nebiker, S.; Bleisch, S.; Christen, M., 2010. Rich point clouds in virtual globes – A new paradigm in city modeling? *Comput. Environ. Urban Syst.*, 34, 508–517.
- Nebiker, S., Cavegn, S., & Loesch, B., 2015. Cloud-Based Geospatial 3D Image Spaces—A Powerful Urban Model for the Smart City. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2267–2291.
- Neukom, J., & Schnyder, J. (n.d.). Aktualisierung der amtlichen Vermessung mithilfe photogrammetrischer Strassenaufnahmen - Stereobilder entlang Strassenachsen ersparen Feldbegehungen (unveröffentlicht).
- Novak, K., 1991. The Ohio State University Highway Mapping System: The Stereo Vision System Component. In: *Proc. of the 47th Annual Meeting of The Institute of Navigation*, Williamsburg, VA, pp. 121–124.
- Paparoditis, N., Papelard, J.-P., Cannelle, B., Devaux, A., Soheilian, B., David, N. & Houzay, E., 2012. Stereopolis II: A Multi-Purpose and Multi-Sensor 3D Mobile Mapping System for Street Visualisation and 3D Metrology. *Rev. française photogrammétrie télédétection*, 200, pp. 69–79.
- Schwarz, K.P., Martell, H.E., El-Sheimy, N., Li, R., Chapman, M.A. & Cosandier, D., 1993. VI-ASAT - A Mobile Highway Survey System of High Accuracy. In: *Proceedings of the Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, Ottawa, pp. 476–481.
- Verordnung über die amtliche Vermessung (VOAV, 214.320) (2014). Basel: Kanton Basel-Stadt. Retrieved from <http://www.gesetzessammlung.bs.ch/frontend/versions/2270>