

Dynamische Erfassung linearer Infrastrukturen unter und über der Erde

MARTIN RUB¹, EMESE FARKAS² & ALBERT WIEDEMANN³

Zusammenfassung: Lineare Infrastrukturen wie Strassen, Eisenbahnen, Hochspannungsleitungen, etc. stellen einen beträchtlichen Wert dar. Ihr Umfang steigt, somit auch der Bedarf an Informationen für eine optimale Planung von Werterhaltungsmaßnahmen. Eine statische Erfassung ist wegen der Länge der Objekte sehr aufwändig, und sollte sich somit auf Verdachtsstellen begrenzen. Dynamische Erfassungsmethoden können diese Verdachtsstellen ermitteln und bereits mit wichtigen Kennzahlen versehen. Eine Übersicht dynamischen Erfassungsmethoden enthält die unterschiedlichen Blickwinkel, Technologien und Plattformen sowie deren Synergiepotential werden erläutert und anhand von Projekten illustriert. Vom luftgestützten Powerlinemapping bis zur vollständigen Erfassung der Tunnelinnenwände sind den Produkten fast keine Grenzen gesetzt.

1 Einleitung

Die Vermessung von Infrastruktur-Korridoren hat sich in den letzten 5 Jahren maßgebend gewandelt. Ein Trend zur flächendeckenden Erfassungstechnologie führt zur Ablösung von manuellen Einzelpunktaufnahmen. Dieser Wandel ist der Entwicklung von Mobile Mapping, Schrägbildkamerasystemen als auch der Verbesserung des luftgestützten Laserscannings und der Photogrammetrie zuzuschreiben.

Die Technologien wie Mobile Mapping werden heute bereits während der Ausschreibung vorgeschrieben. Dieser Trend gründet auf den Erkenntnissen und Vorteilen der verschiedenen Erfassungsmöglichkeiten. Es zeichnet sich aber auch bereits heute ab, dass sich während der Planungsphase von Unterhalts- und Bauprojekten höhere Auflösung, Genauigkeit und vollständigere Geodaten durchsetzen.

2 Sensoren, Navigation & Trägersysteme

Zur dynamischen Erfassung kommen unterschiedliche Sensoren zum Einsatz um das Objekt zu erfassen, weitere zur Bestimmung der Orientierung der Sensoren im Raum. Die Systeme werden auf unterschiedlichen Trägersystemen eingesetzt, die sich parallel zur Ausdehnungsrichtung der linearen Infrastruktur fortbewegen.

¹ Martin Rub, BSF Swissphoto, Dorfstr. 53, CH-8105 Regensdorf-Watt, martin.rub@bsf-swissphoto.com

² Emese Farkas, BSF Swissphoto, Dorfstr. 53, CH-8105 Regensdorf-Watt, emese.farkas@bsf-swissphoto.com

³ Albert Wiedemann, BSF Swissphoto, Mittelstr. 7, D-12529 Schönefeld, albert.wiedemann@bsf-swissphoto.com

2.1 Sensoren

2.1.1 Kameras

Eine Basis-Technologie ist die Verwendung großformatiger digitaler Kamerasysteme. BSF Swissphoto verwendet hier verschiedene Digitale Kameras der UltraCam Serie, die hochauflösende digitale Luftbilder in einer Auflösung bis zu 3 cm erstellen. Neben hochauflösenden Systemen kommen auch Mittelformat- oder andere Digitalkameras zum Einsatz. Abhängig von der Distanz zum Objekt bzw. der Soll-Messfrequenz werden in dynamischen Anwendungen kalibrierte Kameras mit einer Auflösung von 2 bis 50 Mega Pixel eingesetzt. Diese haben Messfrequenzen von 5 – 20 Hz.

2.1.2 AOS – Aerial Oblique System

Das System besteht aus drei Mittelformat Kameras. Eine stellt Senkrechtaufnahmen her, die beiden anderen schräg eingesetzten rotieren um 90°. Somit werden mit einem Aufnahmezyklus vier Schrägbilder und zwei vertikale Aufnahmen erstellt (WIEDEMANN 2010).

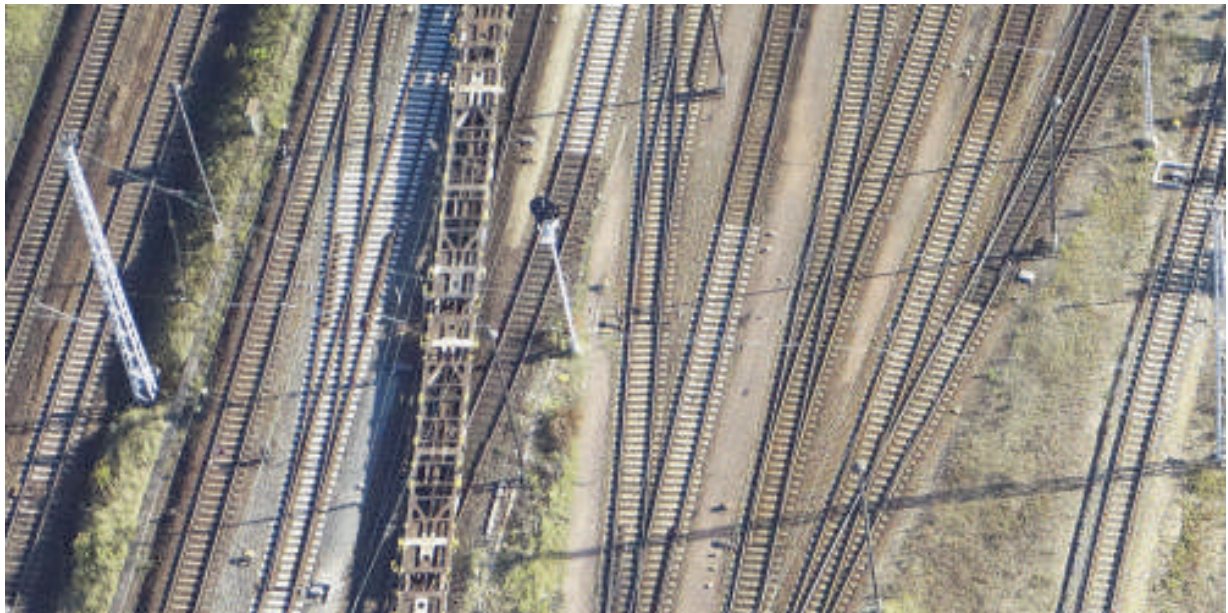


Abb.1: Bildausschnitt Schrägbildsystem AOS

2.1.3 Laserscanning

Laserscanning ist eine aktive Technologie zur Objektdokumentation durch Erfassung von Punktwolken mit Hilfe von Distanzmessung. Das Airborne Laserscanning ist eine effiziente Methode, um die Erdoberfläche aus der Luft schnell, genau und detailliert zu erfassen. Das Resultat der Lasermessung ist eine dreidimensionale Punktwolke mit Punktdichten zwischen 0.5 bis 200 Punkten/m². Die Systeme werden aus Flächenflugzeugen oder Helikoptern eingesetzt. Das terrestrische Laserscanning besteht je nach Trägerplattform und deren Distanz zum Objekt aus Phasen- oder Pulsscannern. Im mobilen Einsatz werden Punktwolken von 20 – 50'000 Punkten / m² erzeugt.

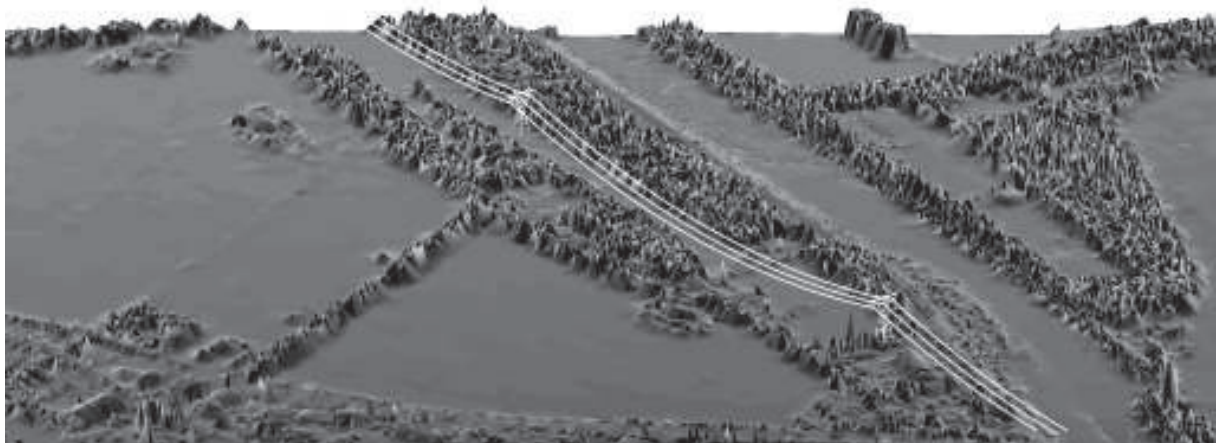








Abb. 2: Laserscanning Datensatz Powerline Mapping

Tab 1: Übersicht von Sensoren die auf dynamischen Plattformen für Korridormapping eingesetzt werden können.

AP Aerial Photogr.	AOS Aerial Oblique S.	ALS Airborne Laserscanning	HALS Handheld Airborne Laserscanning	TLS Terrestrial Lasersc.	DC Digital Cameras
					
Aufnahmerichtung/ Öffnungswinkel					
nadir	nadir, schräg	nadir	nadir/60°	beliebig/ 360°	beliebig/
Reichweite					
			Reichweite	<100 m	
Auflösung/Punktdichte am Objekt					
3 cm @ 500 m Flughöhe	5 cm @ 350 m Flughöhe	45 cm Raster (4.5 Punkte/m ²)			
Genauigkeit					
cm-dm	cm	cm	cm	mm	cm
Messfrequenz					
0,5 Hz	0,3 Hz	166 kHz	100 kHz	1016 kHz	10-30 Hz

2.1.4 Sonstige






Weitere Sensoren können Infrarot bzw. Kameras anderer Aufnahmespektren sein. Beim ALS oder TLS bieten sich blaue Laser an um Bathymetrie zu betreiben. Um Korridorvermessung entlang von Flüssen zu betreiben kommen nach wie vor Echolote zum Einsatz. Thermalkameras können zur Überwachung von Fernwärmesystemen verwendet werden.

2.2 Navigation

Unter Navigation wird die Lösung der eindeutigen Trajektorie im Raum verstanden. Diese führt zu georeferenzierten Daten, die im Korridormapping in 2 Konzepte unterteilt werden können: A) Navigation basierend auf GNSS, B) Systeme die ohne Satellitennavigation funktionieren. Systeme der Gruppe A) stehen oftmals in Kombination mit GNSS- und einer IMU-Sensorik im Einsatz. Diese werden vorwiegend auf luftgestützten Plattformen verbaut. Der Satellitenempfang erlaubt diesen Systemen eine direkte Georeferenzierung und bedingt lediglich einer GNSS-Referenzstation und Kontrollmessungen. Der zweite Fall gilt insbesondere für terrestrische Systeme, die auf einem Auto, Boot oder Gleiswagen mitgeführt werden. Diese müssen mit Signalstörungen, Abschattungen (Bsp. städtische Gebiete, Berge, etc.) bis hin zum totalen Ausbleiben von Satellitensignalen (Tunnel) auskommen. Systeme der Gruppe B) haben sehr unterschiedliche Navigationskonzepte. So genannte Mobile Mapping Systeme umfassen oftmals eine GNSS-, IMU- und Wegsensoren. Die Georeferenzierung im Bereich von wenigen mm bis hin zu 1 m kann jedoch nur mittels bekannten Passpunkten erreicht werden.

2.3 Trägersysteme

Tab 2: Plattformen zur dynamischen Korridorerfassung.

Flieger	Helikopter	Auto	Bahn	Boot
				
Aufzunehmende Plattformen				
AP, AOS, ALS VK	AP, AOS, ALS HALS, TLS, DC	TLS, DC	TLS, DC	TLS, DC
Erfassungsgeschwindigkeit [km/h]				
180-300	50 - 200	< 80	< 80	< 20
Max. Missionszeit am Stück [h]				
6.5	3	2	2	2

Auf Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) wird in dieser Übersicht bewusst nicht eingegangen, da sie für Korridor Mapping von mehreren Kilometern Länge noch nicht geeignet und zugelassen sind.

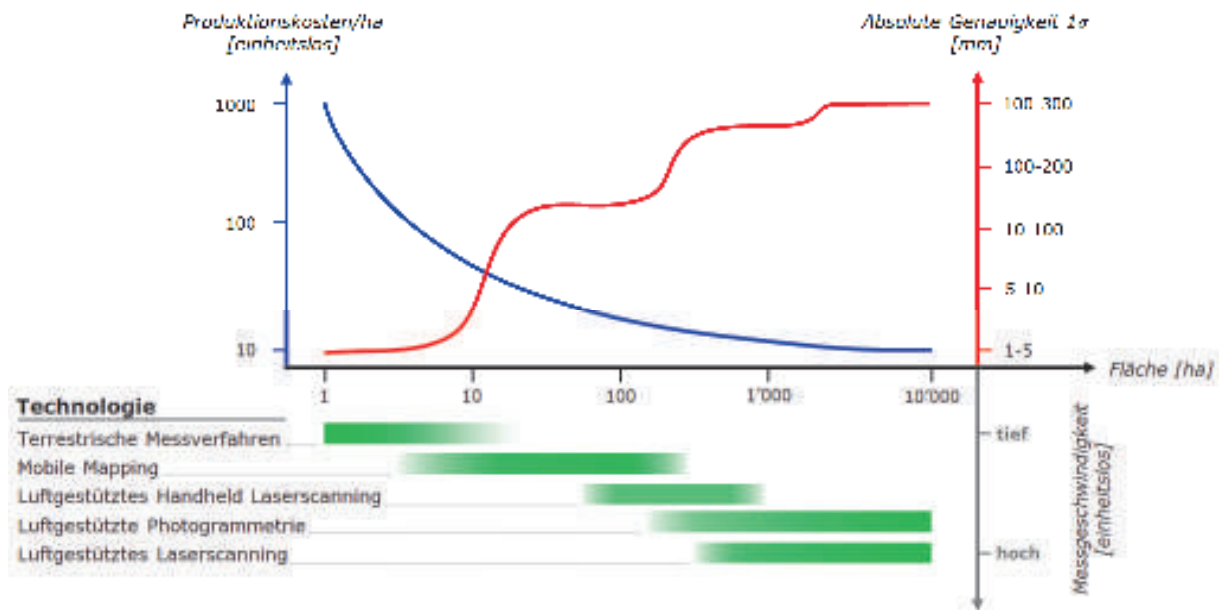


Abb. 3: Vergleich verschiedener mobilen Erfassungsmethoden in Hinblick auf deren Produktionskosten, Genauigkeit und Messgeschwindigkeit.

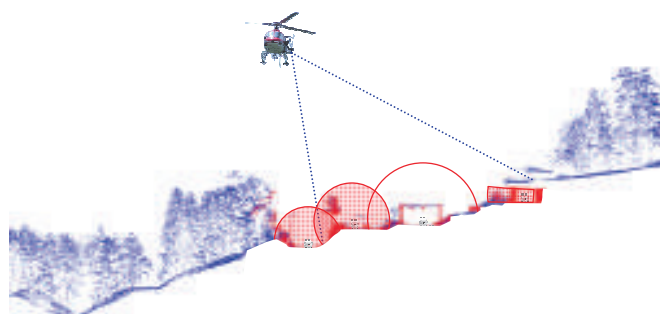


Abb. 4: Korridormapping für das Nationalstraßenprojekt St. Gallen Ost-West. Die erhobenen Laser- und Bilddaten wurden mittels AP und ALS erfasst. Sämtliche Strassen, Tunnel und Überführungen wurden weiter mit Mobile Mapping aufgenommen. Für steile Böschungen würde sich auch ein HALS anbieten.

2.4 Vergleich






Dank der Weiterentwicklung hochauflösender Sensorik und Navigationssystemen konnten die meisten Technologien ihr Anwendungsfeld erweitern. Die luftgestützten Systeme bewähren sich nach wie vor um in kurzer Zeit große Flächen zu erfassen. Diese Aufnahmeverfahren können

weitgehend auf Standardprozesse zurückgreifen. Terrestrische Mobile Mapping Systeme haben in den letzten 5 Jahren auf Seiten der Hardware viele Fortschritte gemacht. Dies betrifft vor allem Genauigkeit und Prozessierung. Dadurch findet immer mehr eine Ablösung von stationären Messungen statt, was aber nicht zwingend eine Reduktion der erforderlichen Arbeitszeit bedeutet. Die Arbeiten haben sich deutlich vom Feld ins Büro verlagert und bedürfen noch großer Fortschritte in den standardisierten Prozessen. Aus heutiger Sicht konnte Mobile Mapping die größten Fortschritte erzielen und ist eine wichtige Ergänzung bei der Erfassung von linearer Infrastruktur.

3 Synergie

Die Synergie der verschiedenen Technologien liegt vorwiegend in der Flexibilität verschiedener Blickwinkel aus der Luft oder vom Boden. Weiter können mit der hohen Punktdichte aus einer Straßenbefahrung alle wichtigen Elemente vektorisiert werden. Diese genügen höchsten Genauigkeitsansprüchen. Nicht alle Korridore benötigen über den gesamten Querschnitt dieselbe Punktauflösung. Die vorgestellten Technologien können von Zentimeter- bis zur 1 m-Punktdichte erzeugen. Gebiete weiter entfernt zum Korridorobjekt haben oftmals geringere Ansprüche. Aus diesem Grund bieten AP, ALS und HALS die richtigen Technologien. Geringere Punktdichte und absolute Genauigkeit sind somit eine kostengünstige Methode um große Flächen zu erfassen. Zudem ergänzen sich Bild- und Laserdaten vor allem im Straßenbereich wenn es um die Objektattributierung geht. Die Korridorausdehnung und die Objekte von Interesse beschreiben schließlich den Einsatz der verschiedenen Technologien. Bei Korridoren mit einer Länge über 5 km kann ein Einsatz von verschiedenen Technologien eine sinnvolle Ergänzung und Effizienzsteigerung bedeuten.

Tab. 3: Übersicht zur Eignung der Erfassungsmethoden und – Kombinationen für Korridorprojekte.

					
Anforderungen					
Korridorbreite [m]	20-50	< 20	<50	100-1000	100-1000
Detaillierungsgrad	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch
Genauigkeit	hoch	hoch	hoch	mittel	gering
Geschwindigkeit	hoch	hoch	gering	mittel	mittel
Technologie					
AP	✓✓✓		✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
AOS	✓			✓	
Handheld ALS	✓✓✓		✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
MMS	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓

4 Projekte

Anhand von zwei Projektbeispielen zeigen wir Technologien und deren erweiterten Produkte. Im Straßenprojekt werden die Stärken der unterschiedlichen Technologien unter die Lupe genommen.

4.1 Gotthard Basistunnel, AlpTransit Gotthard AG (ATG)

Die ATG beauftragte die BSF Swissphoto als Teil des Vermessungskonsortiums mit der Befahrung der Tunnelabschnitte Erstfeld West und Sedrun Süd. Als Vorgabe ist ein hochauflösendes Laserscanning vor Übergabe des Rohbaus an die Bahntechnik mit einer Punktdichte von 5 mm und einer Genauigkeit (1σ) von 4 mm bzw. 10 mm Toleranz durchzuführen. Auf dem Mobile Mapping System der 3D Mapping Solutions GmbH sind 2 der neuesten Laser Profiler 9012 von Z+F, eine IMU und Wegsensoren zur hochpräzisen Trajektorienbestimmung zum Einsatz gekommen. Zwecks Georeferenzierung wurden alle 50 m beidseitig Fixpunkte mit Zieltafeln signalisiert. Die daraus gewonnenen Resultate umfassen das Bestimmen von Koordinaten vordefinierter Profilpunkte der Innenschale im Profilabstand von 10 m, Differenzplänen des aktuellen Tunnels gegenüber der Soll-Geometrie und die Bestimmung der Schachtkoordinaten. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass mit der dichten Punktwolke auch Orthophotos erzeugt werden können. Diese können als Grundlage für die Tunnelinventarisierung oder das Kartieren von Wassereintritten bzw. größeren Rissen herangezogen werden.

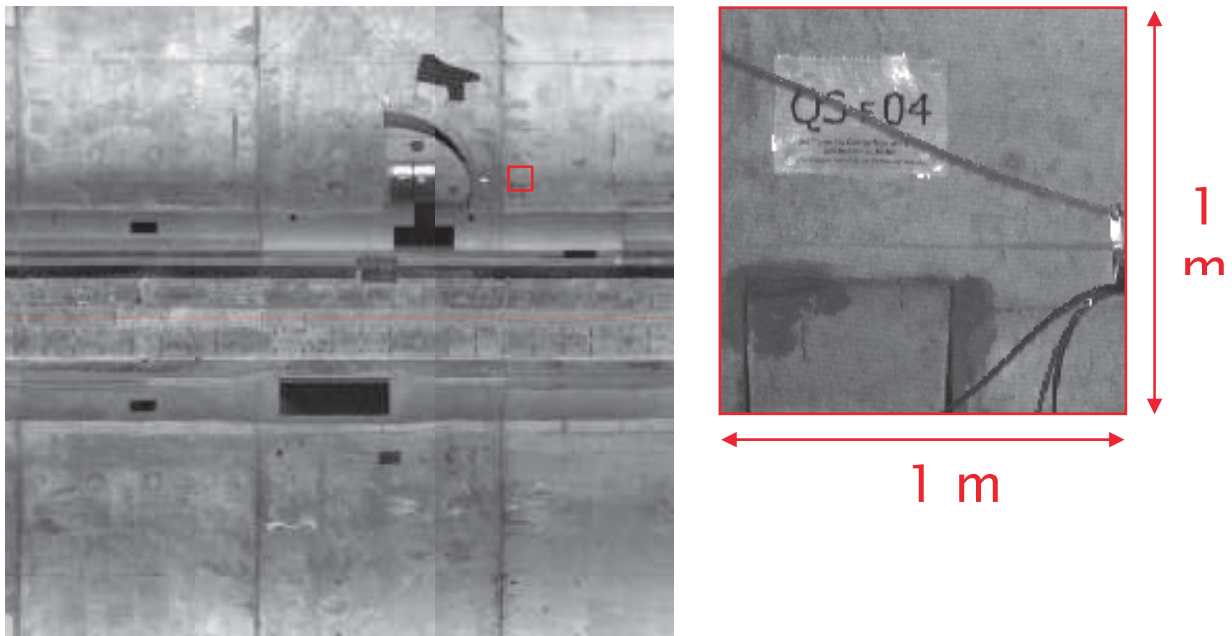


Abb. 5: Laserscanning-Orthophoto des Eisenbahntunnels nach dem Rohbau. Auflösung am Objekt beträgt 5 x 5 mm, eingefärbt mit den Intensitätswerten. Abwicklung ist mittig an Tunneldecke geschnitten.

4.2 Autobahn –St. Gallen, Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Für das Erhaltungskonzept des Nationalstraßenabschnitts St. Gallen Ost-West von 11.5 km waren ein Fixpunktnetz zu realisieren, Datenerfassung mittels Mobile Mapping und deren Auswertung zu einem vektorisierten Objektkatalog (Straßenmöblierung), Erarbeiten des digitalen Terrainmodells (DTM) und Profilen, Ergänzungsaufnahmen an Kunstbauten und unterstützende Vermessungsarbeit in den laufenden Jahren durchzuführen.

Bereits vor der Beauftragung wurden ALS-Daten erfasst, diese dienten in erweiterten Gebieten den geologischen Untersuchungen. In einem weiteren Schritt wurde ein Grundlagennetz von über 500 neuen Fix- und Passpunkten realisiert und gemessen. Letztere wurden zur Einpassung der mobilen Laser- und Bilddatenerfassung genutzt. Schlüsseltechnologie zur Erfassung und Auswertung von 11.5 km Autobahn und 3 Tunnels war das Mobile Mapping System. Mit 55 km/h wurde bei laufendem Verkehr jede Fahrspur innerhalb von zwei halben Tagen erfasst. Aus den Laser- und Bilddaten und den manuellen Ergänzungsmessungen wurde ein digitaler Katalog mit über 40 verschiedenen Objektklassen (OK & UK Böschung, Fahrbahnrand, Verkehrssignale, Entwässerungsschacht, Fahrbahnachse, etc.) erstellt. Mobile Mapping vermag zwar Sperrzeiten und Arbeitsgefahren zu minimieren, doch das Arbeitsvolumen hat sich eindeutig hin zum Büro verlagert. Das Projekt hat allen Beteiligten aufgezeigt, dass aus Laserscanning-Aufnahmen jederzeit und fast beliebige geometrische Daten abgeleitet werden können.

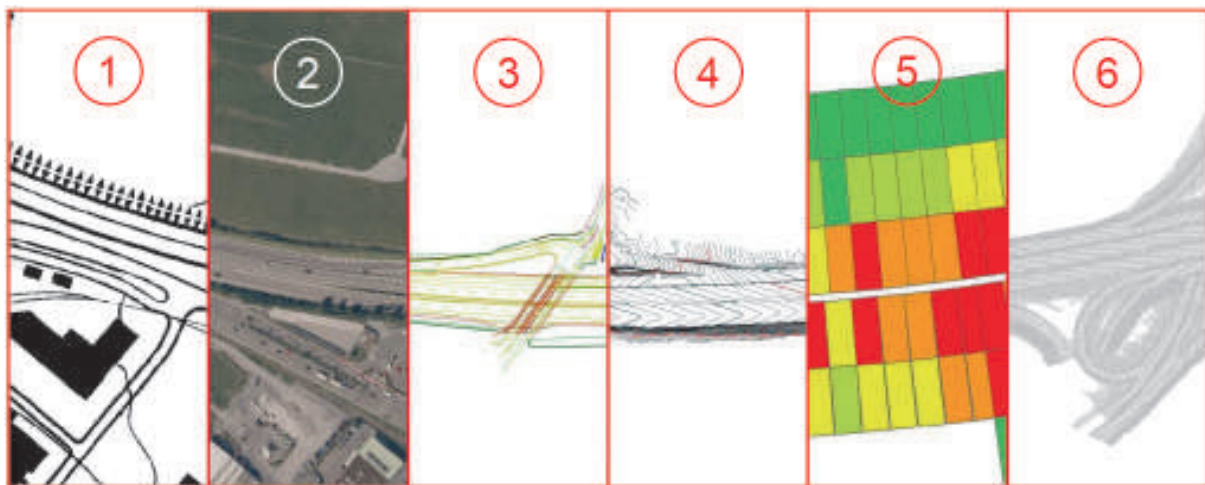


Abb. 5: Prozessierungs- und mögliche Produkteschritte: (1) Mittels Grundlagenplänen wird die Befliegung und Befahrung des Korridors geplant. (2) Die gesamte Breite wird mittels AP und ALS befliegen. (3) Sämtliche befahrbare Strassen werden mittels Mobile Mapping System erfasst und vektorisierte Pläne erstellt. (4) Daraus lassen sich Höhenmodelle in Form von Höhenlinien und Bruchkanten ableiten. (5) Die Laserdaten des Mobile Mappings werden für die Ebenheitsprüfung nach VSS-Norm herangezogen und je nach Zustandklasse eingefärbt. (6) Weitere Form der Geländedarstellung ist das triangulierte Netz mit Bruchkantenintegration

Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass in Zukunft weiter an der Effizienzsteigerung auf Seiten Auswertung gearbeitet werden muss. Damit verbunden sind Kostenersparnissen und Zeitgewinne für den Kunden. Durch diese Entwicklung werden periodische Infrastruktur-

Kontrollen erschwinglich und zu einem Bedürfnis von Straßenmeistereien, Tiefbauämtern, Stromnetz- und Bahnbetreibern.

5 Ausblick

Durch die schnelleren Erfassungsmethoden und deren sinkenden Kosten wird die Nachfrage nach aktuelleren und hochwertigeren Geodaten weiter wachsen. Dies wiederum stellt neue Herausforderungen an Vermessungsingenieure beim Verständnis der Technologien und deren Einsatz für verschiedenste Ansprüche. Die größten Herausforderungen werden im Bereich von effizienten Auswertungsprozessen gesehen. Bereits heute findet eine Verlagerung der Arbeiten vom Feld ins Büro statt. Die Auswertungsprozesse konnten bislang nicht mit den Entwicklungen der Erfassungsmethoden mithalten. Die immer umfangreicheren Datenmengen stellen eine große Herausforderung an die Auswertungsprozesse betreffend Geschwindigkeit und Automatisierung. Auf der anderen Seite liegt die Produktvielfalt, die durch die Geodaten-Industrie aktiv gestaltet werden kann. Geländemodelle und Orthophotos sind nach wie vor ein großer Markt aber es muss an weiteren Anwendungsbereichen mit abgeleiteten Produkten gesucht werden wie beispielsweise:

- Komplette 3D Korridor-/Stadtmodelle
- Wärmebildkartierung (luftgestützt, terrestrisch)
- Bewertung Straßenbelag mittels Laserscanning und Bildkameras
- Risskartierung von Tunnelwänden
- Lärmschutzmodelle
- Vegetationsanalysen
- Sichtbarkeitsanalysen Fußgänger

Die Technologien verbinden folgende Vorteile: geringere Sperrzeiten, Gefahrenminimierung durch berührungslose Methoden, kürzere Produktionszeiten bei weiteren Produkten, kürzere Produktionszeiten bei Nachforderungen, Anwendungsvielfalt. Probleme ergeben sich durch die erforderliche Prozessierungszeit, die enormen Datenmengen, die Notwendigkeit verschiedene Daten zu integrieren und zu kontrollieren.

6 Literaturverzeichnis

- STENGELE, R. 2009: Geodaten aus der Luft: aktueller Status, Trends und Ausblick, September 2009: Geomatik Schweiz
- WIEDEMANN, A. 2011: Geometrisches Potential von Schrägbildern aus dem System AOS. DGPF-Jahrestagung 2011