

# 3D-Planungsdaten für Autobahnausbau: Vermessung, Modellierung, Visualisierung, BIM

Dr. Anna Somieski

**BSF Swissphoto AG**

Dorfstrasse 53

CH-8105 Regensdorf-Watt

eMail: [info@bsf-swissphoto.com](mailto:info@bsf-swissphoto.com)

URL: [www.bsf-swissphoto.com](http://www.bsf-swissphoto.com)

Martin Rub

**Terradata**

Dorfstrasse 53

CH-8105 Regensdorf-Watt

eMail: [regensdorf@terradata.ch](mailto:regensdorf@terradata.ch)

URL: [www.terradata.ch](http://www.terradata.ch)

**Zusammenfassung:** Anhand dieses Projekts wird aufgezeigt, wie das Schweizer Bundesamt für Strassen (ASTRA) Planungsgrundlagen vermessen lässt und welche Produkte daraus entstehen. Die vielseitigen und detaillierten Produkte ermöglichen den Planern bereits in der Planungsphase eine hohe Sicherheit und reduzieren während der Ausführung Kosten für zusätzliche Vermessungsarbeiten.

## 1 Einleitung

Bis ins Jahr 2030 wird der 20 km lange Autobahnabschnitt Aarau-Birrfeld der schweizerischen Nationalstrasse A1 von 4 auf 6 Spuren ausgebaut (siehe Abb. 1). Als integrale Planungsgrundlage für alle Projektbeteiligten wurde vom Schweizer Bundesamt für Strassen (ASTRA) ein hochauflösendes und hochgenaues 3D-Modell der kompletten Infrastruktur in Auftrag gegeben.

BSF Swissphoto, ein seit Jahrzehnten etabliertes deutsch-schweizerisches Unternehmen mit Niederlassungen in Regensdorf (Schweiz), Schönefeld und Pasewalk (Deutschland) bietet ein breitgefächertes Geodaten-Portfolio von der terrestrischen Grundlagenvermessung mittels GNSS und Tachymetrie über terrestrisches Laserscanning bis hin zu dynamischen Vermessungsmethoden mittels Mobile Mapping, luftgestütztem Laserscanning und Luftbildern.

Diese Kompetenzen sicherten dem Unternehmen Anfang 2018 den Zuschlag für die umfangreichen Vermessungs- und Auswerteaufgaben, welche die Kombination verschiedener Messverfahren sowie die Zusammenführung der resultierenden Datensätze für eine georeferenzierte Visualisierung des Projektgebiets umfassten. Ziel des Projektes war die Lieferung eines 3D-Modells, welches die Planung aller notwendigen Massnahmen vom Vorprojekt bis hin zum Ausführungsprojekt ermög-

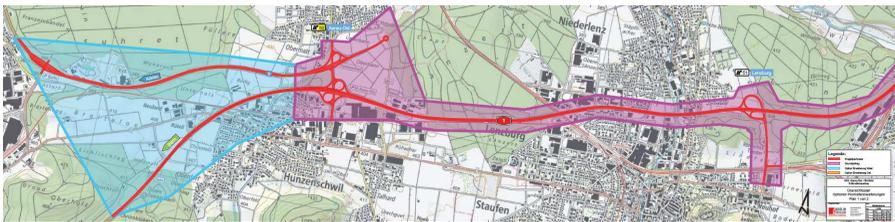
licht, ohne weitere Begehungen des Projektgebietes durch die Planungsingenieure notwendig zu machen.

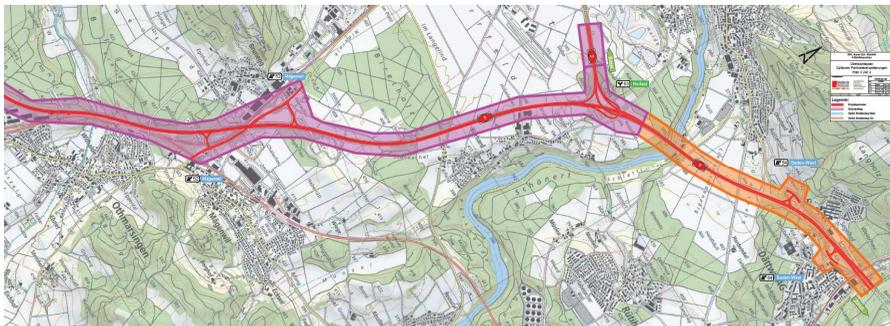
Das Projekt startete im April 2018 und dauerte bis zur Abgabe insgesamt 6 Monate. Es stellte somit neben den konzeptionellen Anforderungen auch in terminlicher und organisatorischer Hinsicht eine spannende Aufgabe dar, da 2'400 Arbeitsstunden für die Datenerfassung und -auswertung koordiniert werden mussten. Im Paper geben die Autoren einen Einblick in die realisierten Messverfahren und umfangreichen Auswerteaufgaben.

## 2 Projektinhalt und Realisierung

Die Erfassung der topographischen Grundlagedaten stellte vermessungstechnisch eine komplexe Aufgabe dar, da die Kombination verschiedener Aufnahmeverfahren gefragt war. So wurden einerseits mittels **Helikopter** Laser- sowie gleichzeitig Bilddaten erfasst. Des Weiteren fand eine Befahrung mit einem **Mobile Mapping System** statt, welches einerseits Laserdaten mit einer extrem hohen Punktdichte aber auch Panoramabilder des Projektgebietes lieferte. Damit ein mängelfreies 3D-Modell innerhalb der Strassenbegrenzungsflächen der Autobahn erstellt werden kann, mussten alle sichtbeschränkten Objekte, welche nicht vollständig durch die oben genannten Verfahren erfasst wurden (z.B. Brückenunterseiten), mit **terrestrischen Terrainaufnahmen per Tachymetrie** ergänzt werden. Das aus den Daten abgeleitete digitale Terrain Modell (DTM) sollte ausserdem mit 3D-Gebäuden ergänzt werden, um den Akustikplanern die Grundlagen für Lärmanalysen bereitzustellen.

In insgesamt 2'400 Auswertestunden (>1 Mannjahr) wurden die umfangreichen Daten erfasst, ausgewertet und kombiniert. Alle Daten (Luftbilder, Panoramabilder und Vektordaten) wurden den Planungsingenieuren vom ASTRA in einem **3D-Viewer** inklusive umfangreicher Messwerkzeuge zur Verfügung gestellt.





**Abb. 1:** Oben: Projektperimeter West. Unten: Projektperimeter Ost mit Mobile Mapping Aufnahmen (rot eingefärbte Strassen), Befliegung mit Laserscanning und Luftbildern (blau, violett und orange eingefärbte Flächen).

### 3 Messaufnahmen

Aufgrund der Anforderungen einer umfassenden 3D-Modellierung aller Objekte im Strassenraum kamen verschiedene Aufnahmetechnologien zum Einsatz:

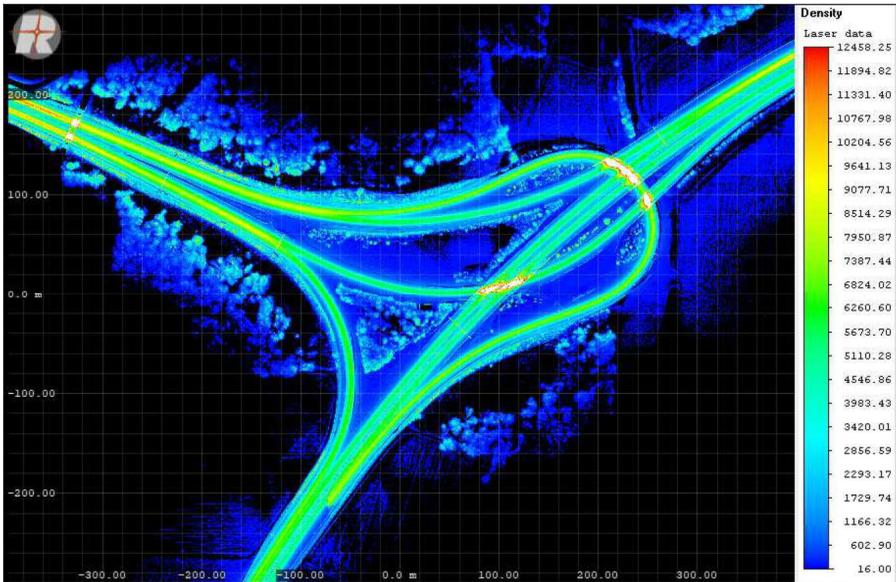
#### 3.1 Befliegung mit Laserscanner und Luftbildkamera

Als Grundlage für die Ableitung eines fotorealistischen 3D-Modells wurden aus einer Höhe von ca. 150 m über Grund Laserdaten mit einer **Punktdichte von 200 Punkten/m<sup>2</sup>** registriert und **2 cm-Luftbilder** aufgenommen.

Zum Einsatz kam ein Helikopter mit implementiertem Helimap Airborne System III und PhaseOne Kamera IXUR1000. Die Befliegungen erforderten gutes Flugwetter und fanden in zwei Missionen am 12. und 13. April 2018 statt. Resultat dieser luftgestützten Aufnahme waren **30 GB Laserdaten** und **4'603 Luftbilder (1.4 TB)**.

#### 3.2 Befahrung mit Laserscanner und Panoramakamera

Um die Daten aus der Luft durch terrestrische Perspektiven zu ergänzen sowie den Detaillierungsgrad und die Genauigkeit zu erhöhen, wurden im Rahmen des Projektes hochaufgelöste Laserdaten mittels Befahrung mit dem SAM-VUX Mobile Mapping System von Helimap SA aufgenommen. Gleichzeitig wurden Panoramabilder erfasst.



**Abb. 2:** Punktdichtekarte der mobilen Laserscanningdaten. Gut ersichtlich sind bei Kreuzungen, resp. den Hauptfahrs Spuren mit bis zu 5'000 Punkte/m<sup>2</sup>.

Die mobile Aufnahme ging auf der Autobahn mit einer Fahrtgeschwindigkeit von 60 km/h und unter Polizeibegleitung von statten. Dies war sowohl aus sicherheitstechnischen als auch aus qualitativen Gründen notwendig, da durch die polizeiliche Regulierung Störobjekte – z.B. durch überholende Autos - in den Panoramabilder und Laserdaten vermieden werden konnten.

Die resultierende Punktwolke hat eine mittlere Punktdichte von 1'300 Punkte/m<sup>2</sup>. Aufgrund mehrerer Durchfahrten oder Überlappungen durch Auf- und Abfahrten sind 80% der befahrenen Flächen sogar mit bis zu **3'000 Punkte/m<sup>2</sup>** abgedeckt (siehe Abb. 2). Dies entspricht einem **Punktraster von 20 x 20 mm** und **70 GB Laserdaten** sowie **65'000 Luftbilder (660 GB)**.

### 3.3 Terrestrische Vermessung mittels GNSS und Tachymetrie

Damit ein mängelfreies 3D-Modell innerhalb der Strassenbegrenzungsflächen der Autobahn erstellt werden konnte, mussten einige sicht-beschränkten Objekte, welche nicht vollständig durch die oben genannten Verfahren erfasst wurden (z.B. Brückenunterseiten, Wasserdurchlässe etc.), mittels terrestrischer Terrainaufnahmen mit einem Tachymeter ergänzt werden. Ausserdem wurden Passpunktmessungen für die absolute Georeferenzierung der Laserdaten und die Aero-triangulation der Bilder mit Hilfe von RTK-GNSS auf insgesamt 174 Punkten durchgeführt (Abb. 3).



**Abb. 3:** GNSS-Messungen von Passpunkten mit LKW-Auffahrtschutz.

## 4 Auswertung

Im Zuge der Datenauswertung wurde zunächst die Rohpunktvolken georeferenziert und klassifiziert, damit ein digitales Terrainmodell (DTM) erzeugt werden kann. Die Luftbilder wurden ausgeglichen und entzerrt, damit das Zielprodukt „Digitales Orthophoto“ entsteht. Erst auf Basis dieser Produkte konnten die Kunstbauten-Objekte (KuBa-Objekte) konstruiert und der Objektkatalog erstellt werden.

### 4.1 Generierung des Digitalen Terrain Modells (DTM)

Das DTM basiert auf der Rohpunktvolke, welche absolut im Schweizer Koordinatensystem LV95/LN02 georeferenziert wurde. Zudem wurde die ganze Punktvolke klassifiziert und ausgedünnt. Schliesslich wurde daraus das DTM trianguliert.

#### 4.1.1 Relative Ausgleichung der Punktvolken

Die Punktvolken der Befliegung und der Befahrung wurden vorerst in separaten Ausgleichungsprozessen behandelt. Die relative Ausgleichung der luftgestützten Punktvolke ergab Differenzen zwischen den überlappenden Fluglinien von  $<2$  cm, jene der Befahrungslinien (linke, rechte Spur sowie alle Auf- und Abfahrten sowie Kreuzungen) führte zu maximalen Differenzen von  $<1$  cm. Wurde die Analyse außerhalb des Strassenbelages durchgeführt, traten erwartungsgemäss grössere Unterschiede aufgrund von ungünstigeren Auftreffwinkeln des Lasers, Bodenunebenheiten und anderen Oberflächenbeschaffenheiten zu Tage.

#### 4.1.2 Absolute Ausgleichung der Punktwolken

In einem nächsten Schritt wurde die luftgestützte Punktwolke relativ zu den terrestrisch gemessenen 174 Passpunkten orientiert. Nach Verteilung der Abweichungen (Ausgleichung) blieben ein absoluter Positionsfehler  $< 2$  cm in der Höhe (Z) und ca. 3 cm in der Lage (XY). Mit Passpunkten, die sowohl in den luftgestützten als auch in der Punktwolke der Befahrung zu sehen sind, wurde schliesslich die absolute Ausgleichung durchgeführt. Als weitere Informationen flossen relative Messungen zur Verbesserung (z.B. Streifendifferenzen) ein.

#### 4.1.3 Klassifizierung der Punktwolke

Für die nachfolgenden Prozessierungsschritte war eine Klassifizierung der Punktwolke nötig. Darunter versteht man einen automatischen Algorithmus zur Unterteilung der Laserpunkte in Boden- und Nicht-Boden-Punkte. Diese Klassifizierung musste stellenweise manuell kontrolliert und korrigiert werden.

#### 4.1.4 Ausdünnung der Punktwolke

Die Anforderung der Planer verlangte eine maximale CAD-Dateigrösse von 200 MB für das komplette Geländemodell. Dazu musste die Punktdichte stark reduziert und homogenisiert werden. Die Ausdünnung der Laserpunktwolke fürs DTM erfolgte mit der Keypoint-Methode (siehe Abb. 4). Der Algorithmus sucht aus der ganzen Punktwolke jene Punkte, die das Gelände mit der geforderten Höhengenaugigkeit abbilden.



**Abb. 4:** Querschnitt durch die Rohpunktwolke mit Keypoints. Die Keypoints in rot repräsentieren das Terrain in einem genügend hohen Mass.

#### 4.1.5 Generierung des DTM mit Gebäudeumrissen & Perimeterrand

Um die Gebäude und Kunstbauten-Objekte (KuBa) im DTM besser identifizieren zu können und um exakte Übergänge zwischen Objekten und DTM zu gewährleisten, wurde ein Verschnitt der Datensätze durchgeführt. Die Laserpunkte der Bodenklasse (Geländemodell) wurden mit Perimetergrenzen, Gebäudeflächen und DTM-Schnittlinien der Kunstbauten verschnitten.

Danach konnte die Triangulation der Laserpunktwolke mit Vorgabe einer maximalen Dreiecksseite durchgeführt werden. Die Strassenoberflächen wurden mit 0.5 m und die übrigen Flächen mit 1 m Dreiecksseitenlängen trianguliert. Der Perimeter wurde in diesem Schritt auf die DTM-Höhen gerechnet und als Bruchkante in die Triangulation einbezogen. D.h. sämtliche Dreiecke führen mit geschlossenen Dreiecken bis zum Perimeterrand.

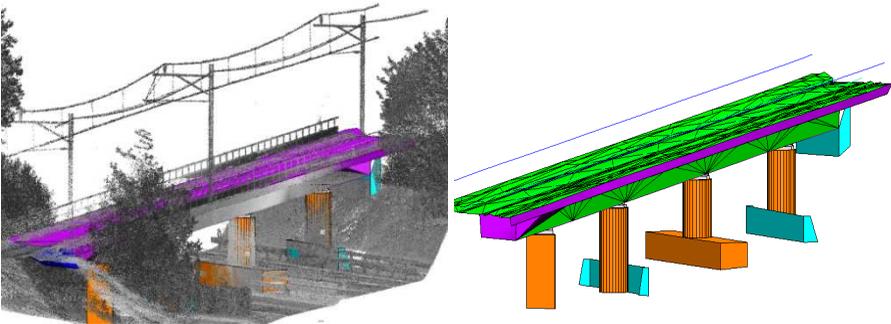
## 4.2 Digitales Orthophoto (DOP)

Die Luftbilder wurden einer Aerotriangulation unterzogen und für die Generierung eines ersten Orthophotos verwendet. Durch Vergleich des Intensitäts-Orthophotos aus Scandaten und der Luftbilder wurden 400 Verknüpfungspunkte eingemessen, welche in beiden Datensätzen gut sichtbar waren. Diese flossen gemeinsam mit den 174 signalisierten Passpunkten in die Aerotriangulation der Luftbilder ein. Anschliessend wurden die Bilder mit dem DTM entzerrt und Brücken und Kunstbauten manuell korrigiert.

Das aus den Luftbildern generierte **DOP** hat eine **Bodenauflösung von 2 cm**. Diese hohe Bildauflösung kann u.a. für Belagsschadenkartierungen herangezogen werden.

## 4.3 KuBa-Objekte

Die Kunstbauten-Objekte (KuBa) wurden aus den luftgestützten und mobilen Laserdaten sowie teilweise aus manuellen terrestrischen Ergänzungsmessungen erfasst und auf CAD-Basis modelliert. Trotz der Nutzung von **Building Information Modeling (BIM)** Software in der Planung und Ausführung des Projektes, sind die meisten Planungsarbeiten nach wie vor keine echten 3D-Auswertungen. D.h. in den CAD-Programmen der Planer können keine überhängende Flächen behandelt werden. Aus diesem Grund mussten die 3D-Daten so modelliert werden, dass sie von den Planern auch genutzt werden konnten (siehe Abb. 5). Sämtliche Oberflächen wurden separiert und zu nicht überlagernden Flächen konstruiert. Des Weiteren wurden alle Flächen durch die DTM-Bildung trianguliert und konnten dadurch sowohl als Triangulation, als Fläche oder auch als Kanten-Knoten-Modell abgebildet werden.



**Abb. 5:** Links: Laserdaten (grau). Rechts: Modellierung der Eisenbahnbrücke.

## 4.4 Bruchkanten & DTM-Schnittlinien

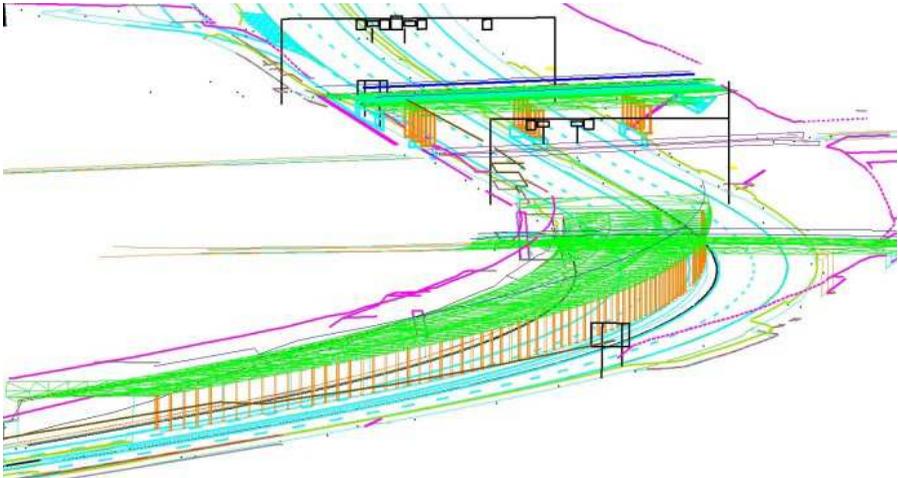
Jedes Kunstbauobjekt (KuBa-Objekt) hat eine DTM-Schnittlinie. Diese Schnittlinie definiert den Übergang vom DTM zum jeweiligen KuBa-Objekt. Die Linie dient einerseits als äussere Begrenzungslinie im DTM, d.h. die DTM-Triangulation ist in diesem Bereich ausgespart, andererseits als Linie zum Anschluss der Triangulati-

onskanten. Letzteres garantiert einen steten Übergang des DTM zum jeweiligen KuBA-Objekt.

#### 4.5 Objektkatalog

Die Strassenmöblierung wurde in einem Katalog mit 58 verschiedenen Objekttypen strukturiert. Die Genauigkeitsansprüche der vektorisierten Objekte reichte von 2 bis 10 cm. Die Objekte umfassten im Fahrbahnraum Belagsknicke, Fahrbahnränder, Mauern, Aussparungen, Sperrflächen, Toranlagen, Verkehrsleitsysteme, SOS-Säulen, Elektrokabinen, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, Hydranten, Entwässerungsrinnen und Hochspannungsmasten und –leitungen (Abb. 6).

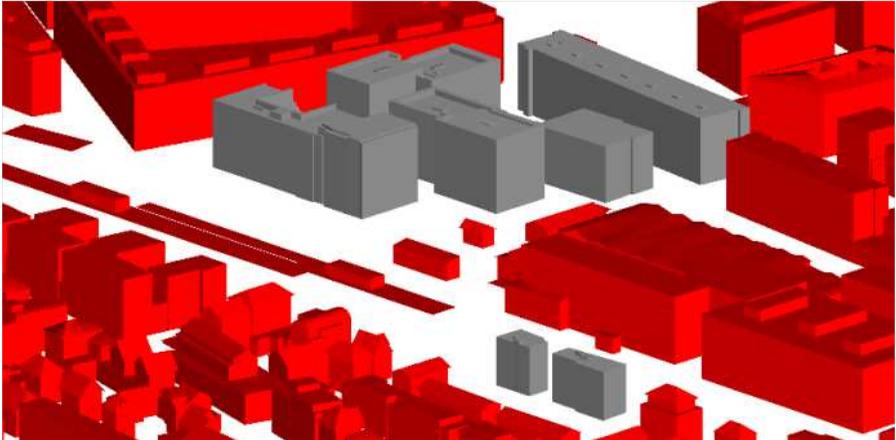
Die verschiedenen Objekttypen wurden in der klassifizierten Punktwolke resp. im Orthophoto ausgewertet. Diese Auswertungen basierten teilweise auf semi-automatischen Algorithmen, vielfach musste aber auch manuell in 3D konstruiert werden.



**Abb. 6:** Streckenausschnitt mit den gesamten Objektkatalog.

#### 4.6 3D-Gebäudemodelle

Die Schweiz verfügt über ein flächendeckendes 3D Gebäudemodell mit einem Level of Detail (LoD) 2 und einer absoluten Genauigkeit von 0.5 m. Die Aufnahmen bzw. Auswertungen fanden zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt und sind daher für projektspezifische Anforderungen nicht immer genügend. Das im Projektperimeter verfügbare Modell war auf dem Stand von 2014. Für die Akustiker sind aber gebäudegebundene und sogar fenstergebundene Lärmprognosen eine Vorgabe des ASTRA. Dies wiederum setzte voraus, dass das bestehende Gebäudemodell mit den Laserdaten aus der Befliegung im Jahr 2018 aktualisiert werden musste (Abb. 7).



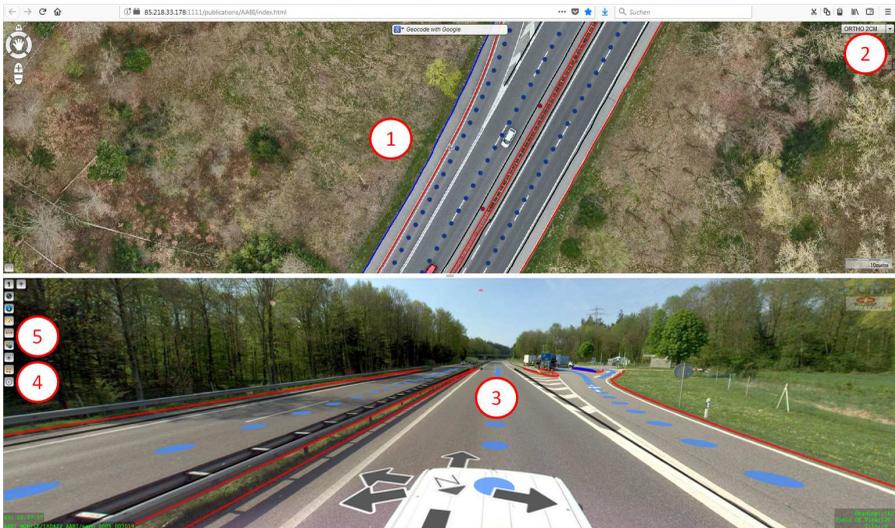
**Abb. 6:** swissBUILDINGS 3D (rot) ergänzt mit Laser-Aufnahmen aus 2018 (grau).

## 5 Resultate

Als Abgabeprodukte wurden folgende Resultate geliefert:

- Digitales Terrainmodell (DTM)
- Digitales Terrainmodell (DTM)
- Digitales Orthophoto (DOP)
- Digitaler Objektkatalog (DOK)
- 3D-KuBa-Objekte
- 3D-Gebäudemodell
- 3D Webviewer

Sämtliche oben genannten Resultate wurden schliesslich dem ASTRA und den beteiligten Planern via passwortgeschütztem 3D WebViewer zur Verfügung gestellt. In diesem Viewer (siehe Abb. 8) verschmelzen als Übersicht das digitale Orthophoto mit einer Auflösung von 2 und 10 cm (Nummer 1 und 2). Weiter sind die Rohpunkt Wolke und das DTM aus der luftgestützten und terrestrischen Erfassung enthalten. Die aufgenommenen Panoramabilder werden in Ansicht 3 eingeblendet.



**Abb. 8:** 3D WebViewer mit Orthophoto in Übersicht und Panoramaansicht.

Darin kann vollständig interaktiv navigiert werden. Der nach Layern geordnete Objektkatalog (Nummer 4 und 5) kann zusätzlich eingeblendet werden. Schliesslich können im 3D WebViewer Messungen mit einer Genauigkeit von 2-5 cm gemacht werden. Diese umfassen Strecken-, Flächen und Volumenmasse oder einfach auch nur Vektorisierungen von weiteren Objekten, die ebenfalls in verschiedene Layer gespeichert und exportiert werden können. Ausserdem können die Planer weitere Projektierungsobjekte laden und im Modell visualisieren.

## 6 Fazit

Eine grosse Herausforderung des Projektes bestand in der Kürze des Projektzeitraums von 6 Monaten und der Koordination der erforderlichen, vielfältigen Mess- und Auswerteverfahren.

Die Vermessungen wurden luftgestützt, mobil per Auto und terrestrisch durchgeführt und verlangten kompetentes Vermessungspersonal sowie den Einsatz hochmoderner Technologien. Die unterschiedlichen Messeinsätze mussten zeitlich koordiniert werden, wobei Rahmenbedingungen wie Wetter (Luftaufnahmen), laufender Verkehr auf der am stärksten befahrenen Strasse der Schweiz und Sicherheitsanforderungen (Polizei- und Begleitschutz) berücksichtigt werden mussten. In insgesamt 2'180 Auswertestunden (1 Mannjahr) wurden die umfangreichen Daten zu einem Modell kombiniert, welches über 20 km Länge absolute Genauigkeiten im cm-Bereich liefert.

Die realitätsgetreue 3D-Visualisierung des Projektgebiets ermöglichte den verantwortlichen Ingenieuren die Durchführung der Planungsarbeiten in einem BIM fähigen Modell - weitere Begehungen konnten vermieden werden.

BSF Swissphoto sammelte im Rahmen dieses spannenden Projektes wichtige Erkenntnisse in der Kombination heterogener Datensätze unterschiedlicher Qualität und Auflösung. Auch in der Ableitung und Erstellung planungsspezifischer Abgabeformate, im Management und der Reduktion grosser Datenmengen sowie in der Anwendung automatischer oder halbautomatischer Auswertewerkzeuge konnte umfangreiches Knowhow für weitere, ähnlich gelagerte Projekte aufgebaut werden.