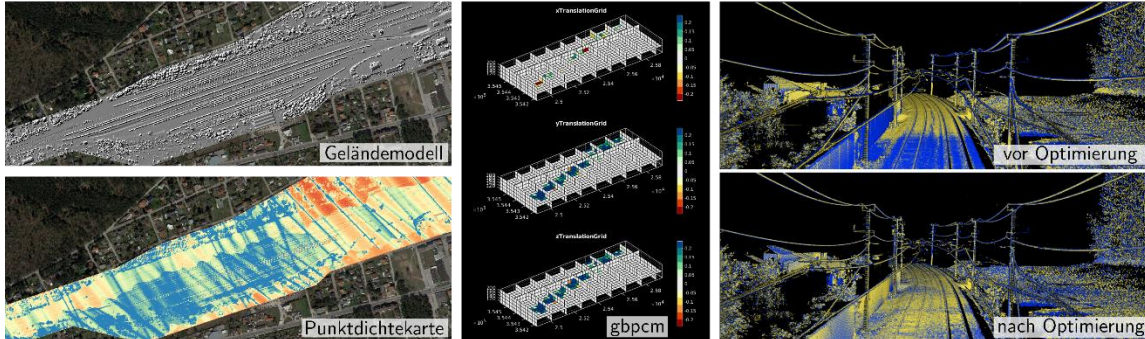
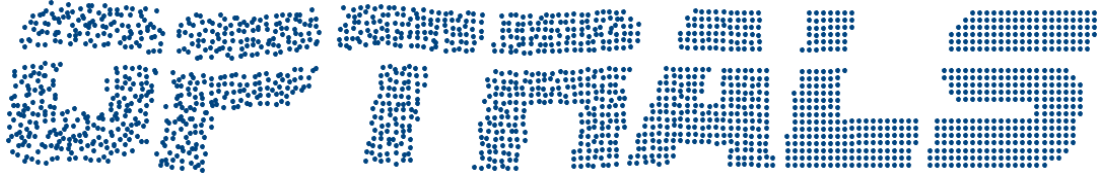


# OPTRALS

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung 2019  
(VIF 2019)



# OPTRALS



Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung  
(VIF2019)

**Autor:**

**Dr. Philipp GLIRA**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Klimaschutz

ÖBB-Infrastruktur AG

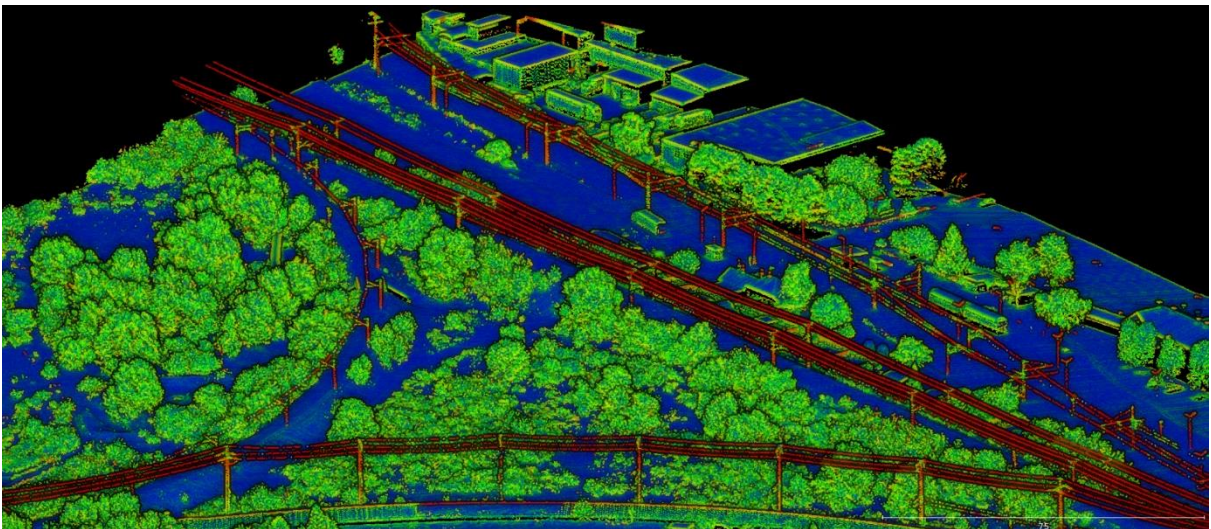
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

**Auftragnehmer:**

- AIT Austrian Institute of Technology, AAS Assistive and Autonomous Systems
- TU Wien, Forschungsgruppe Photogrammetrie

## Das Problem

Digitale Zwillinge spielen in der Wirtschaft, aber auch in der Forschung, eine wichtige Rolle. Als Geodaten-Grundlage eines digitalen Zwillings eignen sich **dichte dreidimensionale Punktwolken**; ein Beispiel ist in Abbildung 1 dargestellt. Diese werden in der Regel direkt von Laserscannern (auch als *Lidar* bekannt) erfasst oder indirekt aus Fotos abgeleitet (durch das sogenannte *dense image matching*, eine photogrammetrische Methode). Aus Punktwolken wiederum lassen sich viele Folgeprodukte ableiten, z.B. Geländemodelle, Gebäude- oder Infrastrukturmodelle.



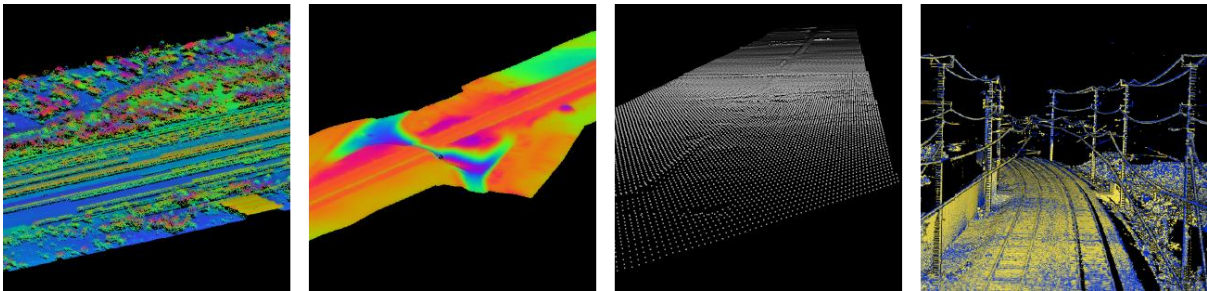
**Abbildung 1: Beispiel einer dreidimensionalen Punktwolke. Diese wurde mit einem Laserscanner von einer bemannten Flugplattform aus aufgenommen. Die Farben der Punkte entsprechen unterschiedlichen thematischen Klassen.**

Derartige Punktwolken werden meist im Zuge von dezidierten Messkampagnen aufgenommen, z.B. mittels eines auf einer Lokomotive montierten Sensorsystems. Weitere Quellen für Punktwolken sind öffentliche Datensätze, wie sie beispielsweise von den Bundesländern regelmäßig veröffentlicht werden.

Diese Punktwolken und deren Folgeprodukte (allg. Geodaten) müssen vor der Integration in den digitalen Zwilling hinsichtlich zweier Aspekte aufbereitet werden:

1. **Homogenisierung der Datenformate und -beschreibung.** Die Geodaten werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten, mit unterschiedlichen Messinstrumenten, durch unterschiedliche Dienstleister usw. aufgezeichnet und ausgewertet. Daraus folgt eine hohe Heterogenität der Geodaten hinsichtlich ihrer Strukturierung (Ordner- und

Dateistruktur), der verwendeten Dateiformate oder ihrer Beschreibung (Metadaten) (Abbildung 2). Um die Daten geordnet abzulegen, sowie für eine Integration dieser Daten in den digitalen Zwilling ist eine Homogenisierung der Geodaten hinsichtlich dieser Aspekte durchzuführen.

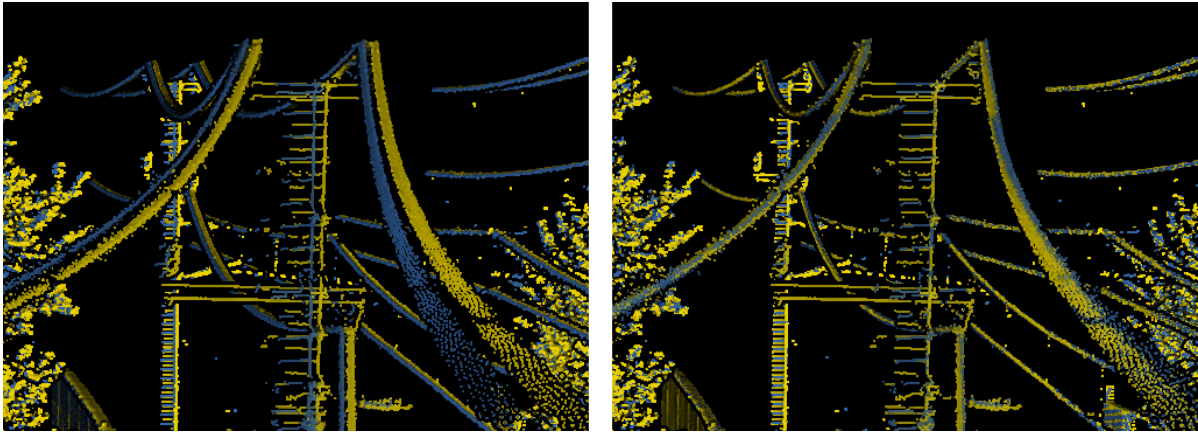


**Abbildung 2: Ausschnitte von Punktwolken die im Zuge unterschiedlicher Messkampagnen aufgenommen wurden. Klar ersichtlich ist die starke Heterogenität der Daten bezüglich der abgebildeten Objekte und deren Messdichte.**

2. **Korrektur der Georeferenzierung.** Im Allgemeinen stimmen neu aufgenommene Geodaten auch in unveränderten Bereichen nicht mit älteren Bestandsdaten eben dieser Bereiche überein, d.h. die Daten weichen voneinander ab, obwohl sich der Naturstand nicht verändert hat. Diese fehlerhaften Abweichungen können in der Größenordnung von einigen Dezimetern liegen. In derartigen Fällen muss daher die sogenannte Georeferenzierung der Daten korrigiert werden. Dafür müssen die Abweichungen analysiert und durch Anwendung passender Methoden minimiert werden (Abbildung 3).

Die beschriebene Datenaufbereitung war vor OPTRALS einerseits mit großem zeitlichem Aufwand verbunden, andererseits gab es die dafür notwendigen Methoden noch nicht, speziell hinsichtlich des zweiten Punktes, der Korrektur der Georeferenzierung.





**Abbildung 3: Links: Abweichende Punktwolken von Infrastrukturelementen an einer Bahnstrecke. Die gelbe Punktwolke wurde von einem Zug aus auf der Hinfahrt mit einem Laserscanner aufgezeichnet, die blaue Punktwolke entsprechend auf der Rückfahrt. Rechts: Nach Korrektur durch das neu entwickelte Punktwolken-Matching-Verfahren namens *grid based point cloud matching (gbpcm)*.**

## Die Projektziele

Das **übergeordnete Ziel** von OPTRALS war die Entwicklung einer prototypischen Software (SW), um die im vorigen Abschnitt beschriebene Datenaufbereitung zu ermöglichen und weitestgehend zu automatisieren. Der Zweck dieser SW ist somit die Homogenisierung von Punktwolken aus unterschiedlichen Quellen zur Generierung eines homogenen Datenarchivs mit optimaler Georeferenzierung.

Die **Einzelziele** von OPTRALS waren entsprechend der Arbeitspaket-Definition:

- Bedarfserhebung: Analyse und Kategorisierung der Probleme auf Basis von zur Verfügung gestellten ÖBB-Testdaten
- Qualitätskontrolle und Beschreibung der ÖBB-Testdaten
- Definition der Anforderungen an die zu entwickelnde SW
- Marktrecherche und SW-Benchmark von freien und kommerziellen SW-Lösungen
- Konzeptionierung und Implementierung der SW (Prototyp)
- Evaluierung und Optimierung der SW auf Basis eines neuen ÖBB-Testdatensatzes

## Die Ergebnisse

**Kernergebnis** von OPTRALS ist die **gleichnamige SW OPTRALS**. Diese wurde an die ÖBB-Infrastruktur übergeben.

Die wichtigsten **Features** der SW OPTRALS sind:

- Einheitliche Verwaltung von Projekten mit räumlichen Daten, speziell durch eine einheitliche Datei- und Ordnerstruktur, sowie einheitlichen Dateiformaten.
- Formatkonvertierung von Punktwolken beliebigen Ursprungs (ALS, MLS, DIM, DOM, ...) in ein einheitliches Dateiformat, dem ÖBB-Standardformat.
- Räumliche Transformationen von Punktwolken, wobei zwei Arten von Transformationen unterstützt werden:
  - Transformationen zwischen unterschiedlichen Referenzsystemen, z.B. zwischen UTM und Gauß-Krüger (GK).
  - Transformationen auf Basis von Punktwolken-Matching.
- Qualitätsdokumentation von Datensätzen.
- Hoher Automatisierungsgrad, also geringe manuelle Interaktion.
- OPTRALS wird für Windows und Linux entwickelt, ist also plattformunabhängig.

Die SW ist modular aufgebaut. Die einzelnen Module sind mehreren Paketen zugeordnet. Eine Übersicht aller entstandenen Module ist in Tabelle 1 zu finden.

Jedes Modul kann durch den Anwender individuell aufgerufen werden; dafür stehen zwei Optionen zur Verfügung:

- **Aufruf über Kommandozeile:** Die einzelnen Module können über ein command line interface (CLI) aufgerufen werden. Eine Prozessierungskette kann damit über batch-Dateien (Windows) bzw. shell-Skripts (Linux) definiert werden.
- **Aufruf in Python-Skript:** Die Module verfügen auch über ein Python-Interface. Damit können diese auch von Python-Skripts aufgerufen werden. Diese Variante ist im Vergleich zur CLI-Variante flexibler.

Paket	Modul	Beschreibung
project		Paket für ein einheitliches Projektmanagement
	create	Anlegen eines neuen Projektes auf Basis eines Templates
	add_dataset	Hinzufügen eines neuen Datensatzes zu einem Projekt
	clean_dataset	Löschen der Temporärdaten eines Datensatzes
	delete_dataset	Löschen eines Datensatzes in einem Projekt
transform		Paket für die Transformation von Punktwolken
	pre_tiling	Erzeugen der Kachelstruktur als Shapefile
	tiling	Kachelung von Punktwolken auf Basis eines Shapefiles
	transform	Transformation und Manipulation von Punktwolken
	generate_class_map	Generierung eines "class map" Templates
metadata		Paket zum Ableiten und Aktualisieren von Metadaten
	boundary	Ableiten des 2D Umrisses der Punktwolken als AlphaShape
	update	Update aller Metadaten eines Datensatzes
	check	Kontrolle aller Metadaten eines Datensatzes
	export	Export aller Metadaten eines or mehrere Datensätze in eine yaml-Ausgabedatei
raster		Paket zum Ableiten von Rasterkarten aus Punktwolken
	dsm	Ableitung eines mosaikierten DSMs
	density	Ableitung von Punktdichtekarten
quality		Paket für die Qualitätskontrolle von Punktwolken
	compare	Vergleich des DSMs mit einem DSM eines Referenzdatensatzes
	report	Generierung eines Berichtes der Qualitätskontrolle
adjust		Paket für die Ausgleichung von Punktwolken
	pre_filter	Filterung von Punktwolken vor Schätzung von Punktattributen
	point_attributes	Schätzung von zusätzlichen Punktattributen
	post_filter	Filterung von Punktwolken nach Schätzung von Punktattributen
	gbpcm	Schätzung von Transformationsparametern mittels "grid-based point cloud matching"

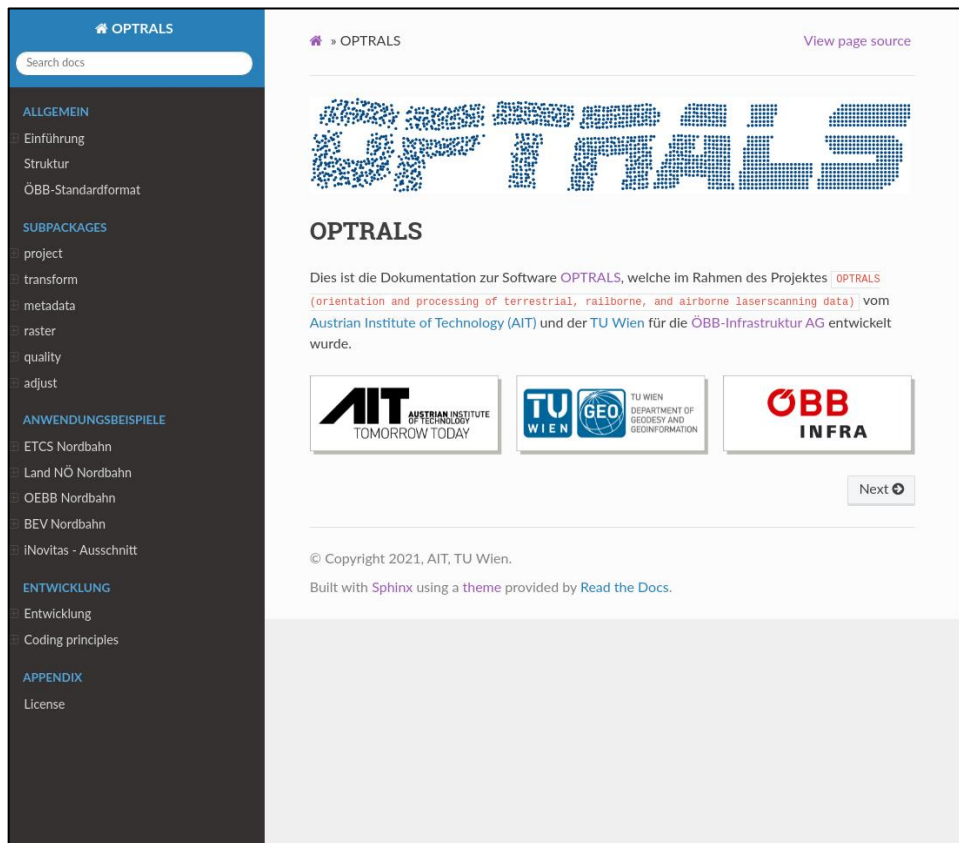
**Tabelle 1: Struktur der entwickelten Software namens OPTRALS. Die Funktionalitäten der SW sind in Pakete und Module strukturiert.**

## Dokumentation und Test der SW

Die SW wurde ausführlich dokumentiert (Abbildung 4). Die Dokumentation enthält eine Beschreibung jedes Moduls, sowie Anleitungen zur Installation und zur Anwendung von OPTRALS.

Die entwickelte SW wurde im Zuge des Projektes ausführlich getestet. Dafür wurden die zur

Verfügung gestellten Testdaten der ÖBB mit OPTRALS prozessiert. Die gesamte Prozessierungskette wurde in der Dokumentation festgehalten und ausführlich kommentiert. Für jedes Anwendungsbeispiel wurde ein Gesamtskript (für Linux und Windows) generiert. Dies ermöglicht der ÖBB-Infrastruktur eine leichte Übernahme und Anpassung der gesamten Prozessierungskette.



**Abbildung 4: Dokumentation der Software OPTRALS.**

## Punktwolkenmatching mittels GBPCM

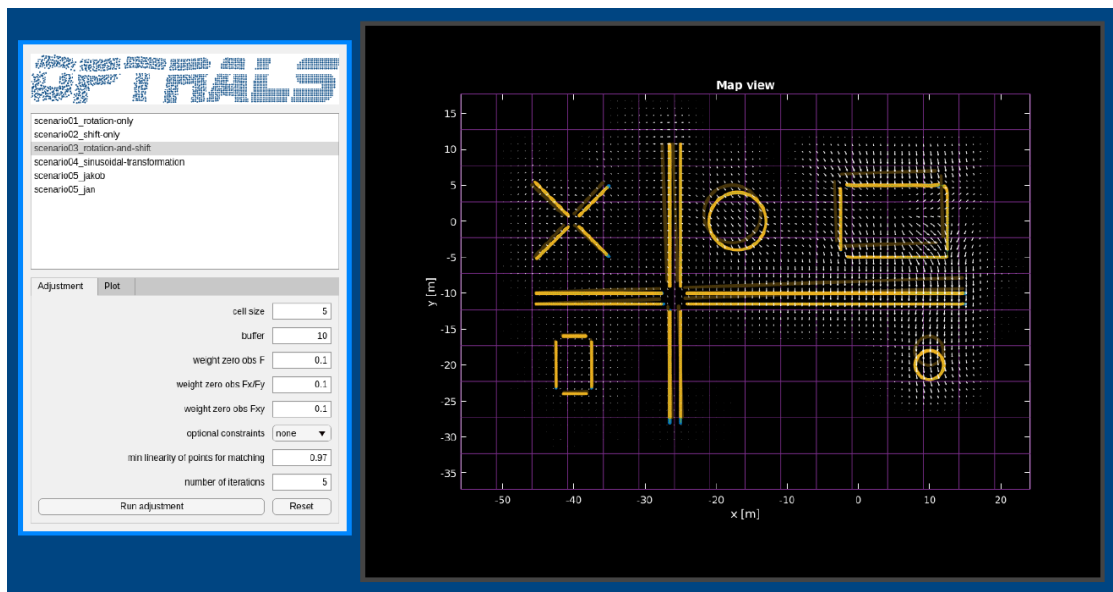
Die wissenschaftliche Kernentwicklung von OPTRALS ist ein neues Punktwolken-Matching-Verfahren namens *grid based point cloud matching* (GBPCM).

Die neu entwickelte Methode kann mittels des Moduls *gbpcm* aufgerufen werden. Ziel dieses Moduls ist die Verbesserung der Georeferenzierung von Punktwolken durch Anwendung eines Punktwolken-Matching-Verfahrens, siehe Abbildung 3. Die wesentliche Innovation liegt in der Anwendung eines neuen, sehr flexiblen Transformationsmodells. Die Einführung dieses neuen Modells war notwendig, weil klassische Transformationen (3D-Verschiebung, rigide



Transformation, affine Transformation) nicht ausreichen, um die Abweichungen zwischen überlappenden Punktwolken in ausreichendem Maße zu minimieren. Stattdessen kommen in *gbpcm* gitterbasierte Transformationen zum Einsatz. Jeweils ein 3D-Gitter für die X-, Y-, und Z-Richtung ergeben in Kombination für jeden Punkt im Raum einen individuellen 3D-Verschiebungsvektor (siehe dazu auch Abbildung auf Titelblatt). Dieses neu entwickelte Transformationsmodell resultierte aus (a) den Erkenntnissen der Qualitätskontrolle der ÖBB-Testdaten und (b) einer Fehleranalyse typischer Messprozesse.

Das Konzept wurde zunächst auf synthetische 2D-Punktwolken angewandt. Diese wurden den realen 3D-Punktwolken in einer ersten Phase des Projektes aus zwei Gründen vorgezogen: (a) die Dimensionsreduktion (3D->2D) vereinfacht das Verständnis und die Visualisierung der Ergebnisse in der Entwicklungsphase, (b) synthetische Daten erlauben die Simulation unterschiedlicher Szenarien, wobei der Soll-Zustand exakt bekannt ist. Für den in Matlab geschriebenen 2D-Prototypen wurde eine graphische Benutzeroberfläche erstellt, siehe Abbildung 5.



**Abbildung 5: 2D-Prototyp der entwickelten Punktwolken-Matching-Methode.**

Bei der finalen SW-Architektur von *gbpcm* wurde großen Wert auf die Effizienz des Algorithmus gelegt, speziell bedingt durch die großen zu prozessierenden Datensätze. Aus diesem Grund wurde dieses Modul final in C++ (statt Matlab oder Python) implementiert. Eine hohe Effizienz wird auch durch eine räumliche (durch Kachelung der Daten) Parallelität des Algorithmus erzielt.

## Impressum:

### Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Klimaschutz  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Radetzky Straße 2  
1030 Wien

 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG  
Praterstern 3  
1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-  
Aktiengesellschaft  
Rotenturmstraße 5-9  
1010 Wien



### Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology  
AAS Assistive and Autonomous Systems  
Giefinggasse 4  
1210 Wien



TU Wien  
Forschungsgruppe Photogrammetrie  
Wiedner Hauptstraße 8/E120  
1040 Wien



### Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Thematische Programme  
Sensengasse 1  
1090 Wien

