

## Schnittstelle Befahrungsdaten für infra3D Plattform

### Spezifikation

Version	Datum	Erstellt durch	Inhaltliche Anpassung	Genehmigt durch
1.0	2.8.2019	Joel Burkhard & Hannes Eugster	Erstellung	
1.1	18.9.2019	Hannes Eugster	Einarbeitung Korrekturen	
1.2	23.9.2019	Hannes Eugster	Integration Definition Nachkommastellen in Textdateien	

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Verortung der Befahrungsdaten - Trajektorie.....</b>	<b>3</b>
1.1	Befahrungstrajektorie .....	3
1.2	Option Informationen zu den Boresight-Parametern.....	3
<b>2</b>	<b>Bilddaten .....</b>	<b>4</b>
2.1	Bild-Rohdaten .....	4
2.2	Innere Orientierung .....	4
2.2.1	Zusatzinformationen für Multisensorsysteme.....	5
2.2.2	Option Bereitstellung von Verzeichnungsbehafteten Bildern .....	5
2.3	Bild-Metainformation .....	6
<b>3</b>	<b>Laserscandaten .....</b>	<b>7</b>
3.1	Punktwolken .....	7
3.2	Scan-Metainformation.....	7
<b>4</b>	<b>Datenstruktur .....</b>	<b>8</b>
<b>Anhang A</b>		
A.1	Boresight Alignment .....	9
A.2	Verzeichnungen und Bildhauptpunkt .....	10

# 1 Verortung der Befahrungsdaten - Trajektorie

## 1.1 Befahrungstrajektorie

Die Befahrungstrajektorie beschreibt die Position und Ausrichtung im Raum der mobilen Trägerplattform (Körperkoordinatensystem, engl. body frame) im globalen Bezugssystem.

Die Befahrungstrajektorie wird durch folgende Parameter beschrieben:

Epoche [GPS-Time]      GPS-Zeit in Sekunden vom letzten Sonntag. Die zugehörige GPS-Woche wird im Dateinamen mitgegeben.

$\mathbf{X}_{glob} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{glob}$       Position der Trägerplattform (INS-Referenzpunktes) im globalen Bezugssystem. Eine Identifikation des verwendeten globalen Bezugssystems wird im Dateinamen als EPSG-Code (gem. <https://epsg.io>) mitgegeben.

$\mathbf{R}_{body}^{glob}(rx, ry, rz)$       Beschreibung der Ausrichtung der Trägerplattform (INS-Referenzsystem) im globalen Bezugssystem durch die drei Eulerwinkel  $rx, ry, rz$ .

$m_x, m_y, m_z, m_{rx}, m_{ry}, m_{rz}$       Standardabweichung der entsprechenden Parameter

- Die **Befahrungstrajektorie** wird mittels folgender Textdatei beschrieben und wird in komprimierter Form bereitgestellt [trajectory\_[traj\_id]\_[gpsweek]\_[epsg].zip]:

Epoche [GPS-Time]	$X$ [m]	$Y$ [m]	$Z$ [m]	$rx$ [rad]	$ry$ [rad]	$rz$ [rad]	$m_x$ [m]	$m_y$ [m]	$m_z$ [m]	$m_{rx}$ [rad]	$m_{ry}$ [rad]	$m_{rz}$ [rad]
6	3	3	3	8	8	8	3	3	3	8	8	8
# Dezimalstellen												
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Epochen der Trajektorie												

Die Trajektorie muss mit einer minimalen Abtastrate (Frequenz) von **100Hz** bereitgestellt werden.

Zudem wird vorausgesetzt, dass die **Parametrisierung der Rotationsmatrix**  $\mathbf{R}_{body}^{glob}$  und die **Definition des INS-Referenzsystems** dokumentiert und als Metainformation zur Verfügung gestellt wird.

## 1.2 Option Informationen zu den Boresight-Parametern

Zusätzlich können die Boresight-Parameter für eine optimale Datenübernahme für jeden Sensor (Laserscanner und bildgebende Sensoren) pro Aufnahmesystemkonfiguration mit bereitgestellt werden (siehe Spezifikation Anhang A.1). In diesem Falle wird die Aufnahmesystemkonfigurations-Identifikation config\_id im Textdateinamen der Befahrungstrajektorie wie folgt ergänzt:

[trajectory\_[traj\_id]\_[gpsweek]\_[epsg]\_[config\_id].zip]

## 2 Bilddaten

### 2.1 Bild-Rohdaten

Die einzelnen Bilder können in dem Bilddatenformat JPEG in der festgelegten Qualität und Auflösung bereitgestellt werden.

### 2.2 Innere Orientierung

Für die aufgezeichneten Bilddaten muss das geometrische Kameraabbildungsmodell bekannt und für einen Bildsensor unverändert und konstant bleiben. Dabei wird davon ausgegangen, dass an den bereitgestellten Bilddaten allfällige Verzeichnungsfehler korrigiert und die Korrektur des Bildhauptpunktes angebracht ist.

Bilder mit den **geometrischen Abbildungsmodellen** werden unterstützt:

#### a. Perspektivische Abbildung

$$r = f_p(c, \theta) = c * \tan(\theta)$$

Der Radius  $r$  der bildseitigen Projektion ist über die Funktion  $f_p$  in Abhängigkeit von der Kamerkonstante  $c$  und des Einfallswinkels  $\theta$  bei der perspektivischen Abbildung gegeben.

#### b. Äquidistante Abbildung für Fischaugenobjektive

$$r = f_a(c, \theta) = c * \theta$$

Das äquidistante Kameramodell beschreibt, dass der Radius  $r$  der bildseitigen Projektion über die Funktion  $f_a$  in Abhängigkeit von der Kamerkonstante  $c$  und des Einfallswinkels  $\theta$ .

**Hinweis:** Panoramaprojektionen (bspw. Zylinderprojektion) werden nicht zugelassen. Bei Panoramakameras besteht die Möglichkeit, die Sensoren als Multisensorsystem zu definieren (siehe Abschnitt 2.2.1). Bspw. als Einzelbilder, welche zusammengefasst eine Cubemap bilden.

Es werden folgende weitere Parameter beschrieben:

$c$	Kammerkonstante (Brennweite)
$ps_u, ps_v$	Pixelgrösse des Sensors quer/hoch in mm
$pix_u, pix_v$	Bildabmessungen in Pixel

Es sind zudem sind Näherungsweise folgende Parameter anzugeben:

$\Delta h$	Höhe des Sensors über der Fahrbahn (Genauigkeit 5cm)
$pitch$	Neigung des Sensors gegenüber der Fahrbahnfläche (Genauigkeit 5°)

Das geometrische Abbildungsmodell wird durch folgende Textdatei [interior\_orientation.txt] beschrieben:

Sensor id	Typ Abb.	$c$ [mm]	$ps_u$ [mm]	$ps_v$ [mm]	$pix_u$	$pix_v$	$\Delta h$ [m]	$pitch$ [rad]
0	[p, a]	4	4	4	0	0	2	2
# Dezimalstellen		# Dezimalstellen						
...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Bildsensoren								

Erklärung Wertebereich: p – perspektivisch, a - äquidistant

### 2.2.1 Zusatzinformationen für Multisensorsysteme

Optional können Multisensorsysteme bestehend aus einzelnen vorgängig bereits definierten Sensoren über folgende Textdatei (multisys.txt) beschrieben werden.

Multisens System id	Type	Referenz-sensor id	Sensor id	...	n Sensoren
0	[m, s]	0	0	0	0
# Dezimalstellen		# Dezimalstellen			
...	...	...	...	...	...
n Multisensorsysteme					

Erklärung Wertebereich: m – Multihead, s - Stereosystem

Unter einem Multihead-System können bspw. folgendes verstanden werden:

- CubeMaps (virtuelles Multihead-System) bestehend aus 6 perspektifischen Einzelbildern
- LadyBug Kamerakopf bestehend aus 6 äquidistanten Einzelbildern
- Kameras eines Stereosystems (bestehend immer aus zwei Kameraköpfen)

**Hinweis:** Die gegebene präzise relative Orientierung zwischen den einzelnen Sensorköpfen des Multisensorsystems können aus den äusseren Orientierungen oder den optional mitgegebenen Boresight-Parameter (siehe Anhang 0) abgeleitet werden.

### 2.2.2 Option Bereitstellung von Verzeichnungsbehafteten Bildern

Werden anstelle von Verzeichnungs- und Hauptpunktkorrigierten Bilddaten Rohbilder bereitgestellt, müssen die Verzeichnungsparameter sowie Angaben zur Korrektur des Bildhauptpunktes ergänzend mitgeliefert werden. Diese Informationen können wie im Anhang A.2 spezifiziert zur Verfügung gestellt werden.

## 2.3 Bild-Metainformation

Damit die zu **integrierenden Bilder** über die Befahrungstrajektorie verortet werden können, müssen die dafür notwendigen **Metainformationen für jedes aufzubereitende Bild** mit folgender Textdatei [image\_meta.txt] beschrieben werden.

Die Bildposition wird durch folgende Parameter beschrieben:

Epoche [GPS-Time]

GPS-Zeit in Sekunden vom letzten Sonntag.

$$\mathbf{X}_{glob} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{glob}$$

Position des Sensors (Kameraprojektionszentrum) im globalen Bezugssystem. Es muss das identische globale Bezugssystem wie bei der Trajektorie verwendet werden.

$$\mathbf{R}_{sen}^{glob}(rx, ry, rz)$$

Beschreibung der Ausrichtung des Sensors (Sensorkoordinatensystem) im globalen Bezugssystem durch die drei Eulerwinkel  $rx, ry, rz$ .

Traj. id	Sensor id	Image id	Epoche [GPS-Time]	image_name	X [m]	Y [m]	Z [m]	rx [rad]	ry [rad]	rz [rad]
0	0	0	6	string	3	3	3	8	8	8
# Dezimalstellen					# Dezimalstellen					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Bilder										

- Es wird vorausgesetzt, dass die **Parametrisierung der Rotationsmatrix**  $\mathbf{R}_{sen}^{glob}$  und die **Definition des Sensorkoordinatensystems** dokumentiert und als Metainformation zur Verfügung gestellt wird.
- Zudem wird vorausgesetzt, dass die relative Position und Orientierung der Sensoren bezüglich der Trägerplattform (INS-Referenzsystem) für die definierte Aufnahmekonfiguration unverändert und konstant bleiben.

**Hinweis zu Multisensorsystemen:** Falls für jeden Sensor optional die Boresight-Parameter mitgeliefert werden, kann auf die Beschreibung aller Bilder aus dem Multisensorsystem verzichtet werden. Es reicht lediglich die Beschreibung des Referenzsensors.

### 3 Laserscandaten

#### 3.1 Punktwolken

Punktwolken aus Laserscans können im Format LAS / LAZ Version 1.4<sup>1</sup> ausgetauscht werden. Folgende Informationen müssen bereitgestellt werden:

Public Header Block:	Alle Pflichtfelder
Point Data Records:	Point Data Record Format 1, 3-8, alle Pflichtfelder. Zusätzliches Pflichtfeld «Intensity».

Wichtig ist die Beschreibung folgender Felder:

- Point Source ID: Muss der zugehörigen Trajektorien-ID (siehe 1.1) entsprechen.
- GPS Time: GPS-Zeit in Sekunden vom letzten Sonntag.

#### 3.2 Scan-Metainformation

Über folgende Scan-Metadateninformation werden die entsprechenden Datendateien den einzelnen Trajektorien zugewiesen und muss mit folgender ASCII-Datei [scan\_meta.txt] beschrieben werden.

Traj. id	Sensor id	data file id	Epoche start [GPS-Time]	Epoche end [GPS-Time]	scandata_name
0	0	0	6	6	string
# Dezimalstellen					
...	...	...	...	...	...
n Datendateien					

<sup>1</sup> [http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS\\_1\\_4\\_r14.pdf](http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/03/LAS_1_4_r14.pdf)

## 4 Datenstruktur

Die Befahrungsdaten werden in folgender Datenstruktur bereitgestellt:

### Ordnerstruktur und Inhalt

### Bemerkungen

#### Befahrungsdaten

##### Bild-Rohdaten

**Trajektorie\_[traj\_id]** [1..n]

**Sensor\_[sens\_id]** [1..n]

*image\_name.jpg* [1..n]

7-Zip Archiv

##### Bild-Meta

*distortion\_corrMap.txt* [0..1]

*distortion\_openCV.txt* [0..1]

*distortion\_luhmann.txt* [0..1]

*interior\_orientation.txt* [1]

*multisys.txt* [0..1]

*image\_meta.txt* [1]

##### Scan-Punktwolken

**Trajektorie\_[traj\_id]** [1..n]

**Sensor\_[sens\_id]** [1..n]

*scandata\_[id].las* od. *scandata\_[id].laz* [1..n]

7-Zip Archiv

##### Scan-Meta

*scan\_meta.txt* [1]

##### Verortung

##### Trajektorien

*trajectory\_[traj\_id]\_[gpsweek]\_[epsg].zip* [1..n]

##### Boresight

*boresight.txt* [0..1]

*Beschreibung Parametrisierung Rotationsmatrizen* [1]



## Anhang A

### A.1 Boresight Alignment

Die Boresight Alignment Parameter beschreiben die Fehlausrichtung (engl. misalignment) und den Hebelarm (engl. leverarm) zwischen den auf dem mobilen Trägersystem eingesetzten Sensoren (Sensorkoordinatensystem, engl. sensor coordinate system) und dem Trägersystem (Körperkoordinatensystem, engl. body frame) selbst. Vorausgesetzt ist, dass diese Parameter für die definierte Aufnahmeconfiguration unverändert und konstant bleiben. Die Aufnahmeconfiguration kann aus mehreren Sensoren (Laserscanner und bildgebende Sensoren) bestehen.

Das Boresight Alignment wird durch folgende Parameter beschrieben:

$$\Delta \mathbf{S}_{body} = \begin{bmatrix} \Delta X_{sen} \\ \Delta Y_{sen} \\ \Delta Z_{sen} \end{bmatrix}_{body}$$

Räumliche Verschiebung des Sensorkoordinatensystem-Referenzpunktes bezüglich INS-Referenzpunkt ausgedrückt im Körperkoordinatensystem.

$$\mathbf{R}_{sen}^{body}(r\Delta x, r\Delta y, r\Delta z)$$

Rotationsmatrix welche die Drehung vom Sensorkoordinatensystem ins Körperkoordinatensystem (INS-Referenzsystem) beschreibt.

$m_{\Delta X}, m_{\Delta Y}, m_{\Delta Z}, m_{r\Delta x}, m_{r\Delta y}, m_{r\Delta z}$  Standardabweichung der entsprechenden Parameter

Die **Boresight-Parameter** werden pro Aufnahmeconfiguration (Config) und Sensor durch folgende Textdatei [boresight.txt] beschrieben:

Sensor id	Config id	$\Delta X_{sen}$ [m]	$\Delta Y_{sen}$ [m]	$\Delta Z_{sen}$ [m]	$r\Delta x$ [rad]	$r\Delta y$ [rad]	$r\Delta z$ [rad]	$m_X$ [m]	$m_Y$ [m]	$m_Z$ [m]	$m_{r\Delta x}$ [rad]	$m_{r\Delta y}$ [rad]	$m_{r\Delta z}$ [rad]
0	0	3	3	3	8	8	8	3	3	3	8	8	8
# Dezimalstellen													
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Sensoren													

In dieser Datei können unterschiedliche eingesetzte Aufnahmesysteme spezifiziert bzw. beschrieben werden.

Zudem wird vorausgesetzt, dass die **Parametrisierung der Rotationsmatrix**

$$\mathbf{R}_{sen}^{body}$$

dokumentiert und als Metainformation zur Verfügung gestellt wird.

## A.2 Verzeichnungen und Bildhauptpunkt

Die **Verzeichnungsfehler** und **Korrektur des Bildhauptpunktes** eines Bildsensors können durch folgende Varianten beschrieben werden:

- Bereitstellung einer OpenCV Korrekturmap für die Pixelmatrix des Sensors mit den entsprechenden Verzeichnungskorrekturen (undistortion and rectification transformation map).
- Parameter des OpenCV Verzeichnungsmodells gem. Online Dokumentation [[https://docs.opencv.org/2.3/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html#calibration-matrixvalues](https://docs.opencv.org/2.3/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html#calibration-matrixvalues)]
- Verzeichnungsmodell nach Luhmann mit drei radial asymmetrischen Verzeichnungsparametern (A1 bis A3), zwei radial-asymmetrische tangentielle Verzeichnungsparameter (B1 und B2), Affinität und Scherung (C1 und C2) [Luhmann, T. (2018). Nahbereichsphotogrammetrie Grundlagen, Methoden und Anwendungen, Wichmann]

Der Abbildungsfehler beinhaltet zwingend die Korrektur infolge von Objektivverzeichnungen sowie die Korrektur des Bildhauptpunktes. Sollten die bereitgestellten Befahrungsbilder bereits in korrigierter (abbildungsfehlerfrei) vorliegen, kann auf eine Beschreibung des Verzeichnungsfehlers für diesen Bildsensor in nachfolgenden File verzichtet werden.

Der entsprechende Verzeichnungsfehler wird durch folgende Textdatei [sensor\_distortion.txt] beschrieben:

- OpenCV Korrekturmap:

Die Verzeichnungsfehler und Bildhauptpunktkorrekturen einer Kamera werden durch zwei Rasterdateien beschrieben, welche für die Rektifizierung eines verzeichnungsfreien Bildes mit der OpenCV-Funktion „remap“ verwendet werden können (vgl.

[https://docs.opencv.org/2.3/modules/imgproc/doc/geometric\\_transformations.html](https://docs.opencv.org/2.3/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html)).

Für jede Bildkoordinatendimension (u und v) muss eine Rasterdatei im Bilddatenformat PGR (Portable Grey Map) mit 32Bit Floating Point Repräsentation bereitgestellt werden. Die Zuordnung der Rasterdateien zum Sensor wird durch folgende Textdatei [distortion\_corrMap.txt] beschrieben:

Sensor id	corrMap_u_name	corrMap_v_name
0	string	string
# Dezimalstellen		
...		
n Sensors mit Beschreibung Verzeichnungsfehler mit Korrekturmap		

## b. Parameter OpenCV Verzeichnungsmodell:

Der Verzeichnungsfehler und die Bildhauptpunkt Korrektur werden durch folgende Textdatei [distortion\_openCV.txt] beschrieben:

Sensor id	$f_x$ [mm]	$f_y$ [mm]	$c_x$ [mm]	$c_y$ [mm]	$k_1$	$k_2$	$p_1$	$p_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$
0	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6
Dezimalstellen					Exponentialdarstellung mit Mantisse # Dezimalstellen							
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Sensoren mit OpenCV Verzeichnungsmodell												

## c. Verzeichnungsmodell nach Luhmann:

Der entsprechende Verzeichnungsfehler wird durch folgende Textdatei [distortion\_luhmann.txt] beschrieben:

Sensor id	$x'_0$ [mm]	$y'_0$ [mm]	$c$ [mm]	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$B_1$	$B_2$	$C_1$	$C_2$
0	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6
# Dezimalstellen				Exponentialdarstellung mit Mantisse # Dezimalstellen						
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n Sensoren mit Beschreibung der Verzeichnungsfehler nach Luhmann										