

BAUSCAN 2023

**Erfassung und Qualität von
3D Punktwolken. –
Welchen Beitrag leisten UAV?**

Heinz-Jürgen Przybilla
Hattingen

Gliederung

- UAVs – Autonome Multi-Sensor Systeme?
- (Direkte?) Georeferenzierung – trivial oder “tricky”?
- Bild- und LiDAR-basierte Punktwolken
- Qualitätsaspekte der 3D-Punktwolke
- Fazit & Ausblick

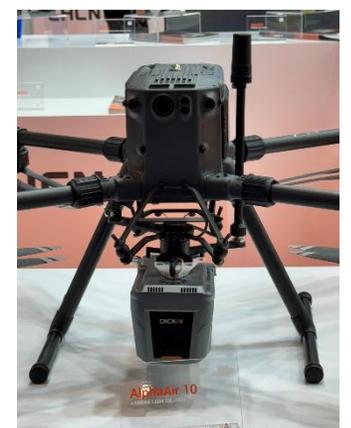
UAV - Ein Multi-Sensor-System

Ein UAV kann grundsätzlich als ein **Multi-Sensor-System** betrachtet werden. Hierzu gehören

- Basis-Sensoren zur **Stabilisierung** der Flugplattform,
- Sensoren zur **Orientierung** und **Positionierung** im Raum,
- Sensoren zur **Kollisionsvermeidung** sowie
- **Aufnahmesensoren** (Kameras, Laserscanner) zur gezielten Erfassung ausgewählter Objekte und deren Eigenschaften.

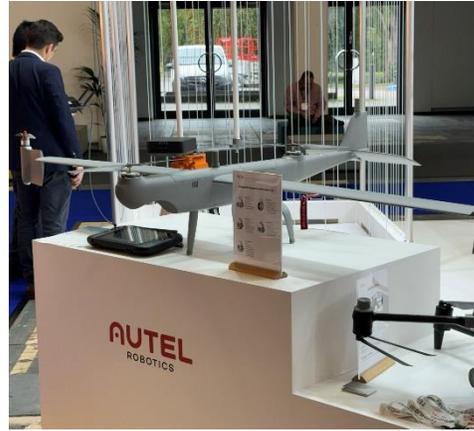
Impressionen: UAV – Intergeo 2023

UAV – Mess-Sensoren



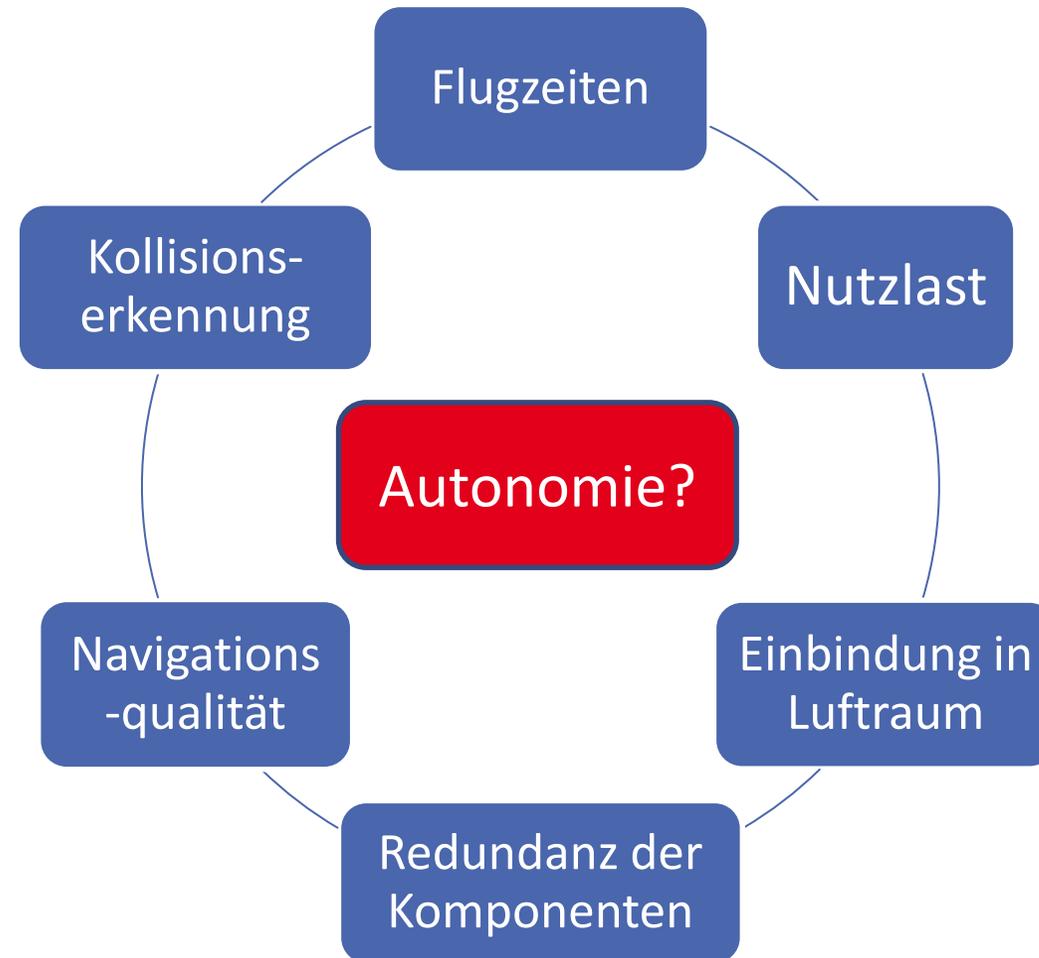
UAV Plattformen

... Größer – Schneller – Weiter ... Autonomer?



Weiterentwicklung der UAV Technologie

Technologische Verbesserungen stehen im Fokus neuer Systeme.



Automation vs. Autonomie

Die Begriffe **Automatisierung** und **Autonomie** sollten nicht austauschbar verwendet werden, da sie sehr unterschiedliche Konzepte implizieren.

- Ein „**autonomes System**“ ist ein solches, das seine **Mission selbst bestimmt**, während der Mission **eigene Entscheidungen** trifft und seine **eigene strategische Planung** vornimmt - das heißt, es ist völlig selbstbestimmt und beherrscht sich selbst.
- Autonome UAV/UAS im obigen Sinne sind **kurz- bis mittelfristig** realistischerweise **nicht realisierbar!**

Quelle: *European Cockpit Association (ECA):*

https://www.eurocockpit.be/sites/default/files/2020-04/Automation_Autonomy_ECA_Briefing_Paper_20_0423_F.pdf

Autonomie-Level (*)

LEVEL AUTONOMIE	0 Keine	1 Pilotengestützt	2 Partiell	3 Bedingt	4 Hoch	5 Voll
Piloten Einbindung	Pilot hat volle Kontrolle über den Steuerknüppel	Pilot hat volle Kontrolle über den Steuerknüppel	Pilot startet und fliegt das UAV	Pilot legt die POI fest	Pilot legt das Interessensgebiet fest	Pilot definiert die zu erfassenden Objekte
System Einbindung	Kontrolle der Höhenlage	Stabile vertikale Position	Stabile vertikale und horizontale Position	Fliegt unter begrenzten Bedingungen	Fliegt unter begrenzten Bedingungen und legt eigenständig POI fest	Fliegt unter allen Bedingungen
Systemebene des Verstehens	Keine	Bestimmt Orientierung und Höhe	Bestimmt Orientierung und Position	Erkennt Hindernisse	Erkennt die 3D-Umgebung	Umfassendes Verstehen
Beispiel	UAV stürzt ohne Piloten ab	UAV bleibt ohne Piloten in der Luft	UAV nutzt Sensoren zur Stabilisierung und erkennt Hindernisse	Das System fliegt und umfliegt Hindernisse	Das System fliegt und erkundet ohne GNSS	Das System fliegt in jeder Umgebung und identifiziert Objekte

Georeferenzierung

- Die Georeferenzierung ist die Grundlage, vor allem bezüglich der Qualität der Punkte.

GCP

- Der RTK/PPK kommt beim ... besondere

RTK/PPK

Direkte Georeferenzierung

Trajektorie

- Direkte Georeferenzierung im 3D-Raum ($\pm 2-3$ cm)
- Aufwand ... örtlichen Arbeiter (Passpunktbestimmung und -bestimmung).
- Der Einsatz von Airborne Scannern (auf UAV) ist unmittelbar von der Qualität der gemessenen Trajektorie abhängig.

Was ist Direkte Georeferenzierung (DG) ?

Direct Georeferencing for UAV Products & Services

WHAT IS DIRECT GEOREFERENCING

Direct Georeferencing or DG directly measures the position and orientation of an airborne mapping sensor, such as a digital camera or a laser scanner. Thereby making it possible to assign a geographical location on the earth to a pixel from a camera image or a digital point from a laser, without the need for ground control points or additional measurements referencing the ground.



Quelle: <https://www.applanix.com/products/dg-uavs.htm#overview>

Komponenten der Direkten Georeferenzierung

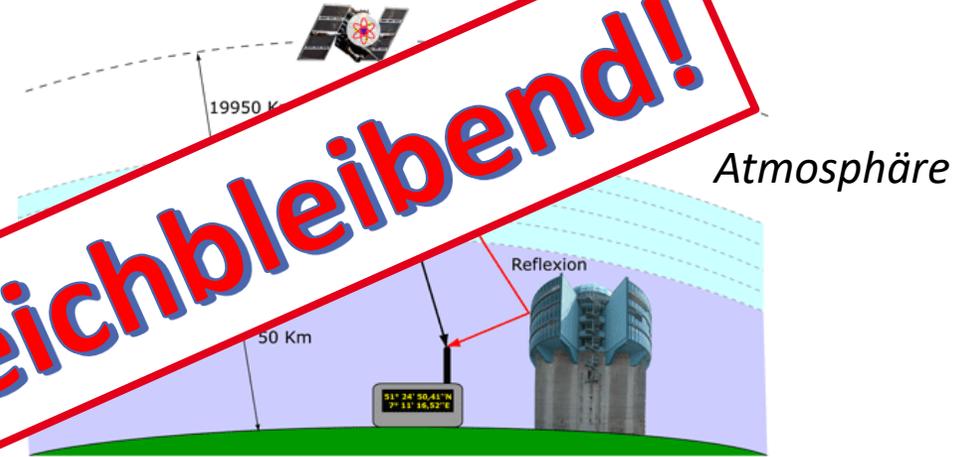


Applanix APX 20
(GNSS-IMU)



Basisstation

Fotos: Hersteller



Quelle: <https://kompendium.infotip.de>

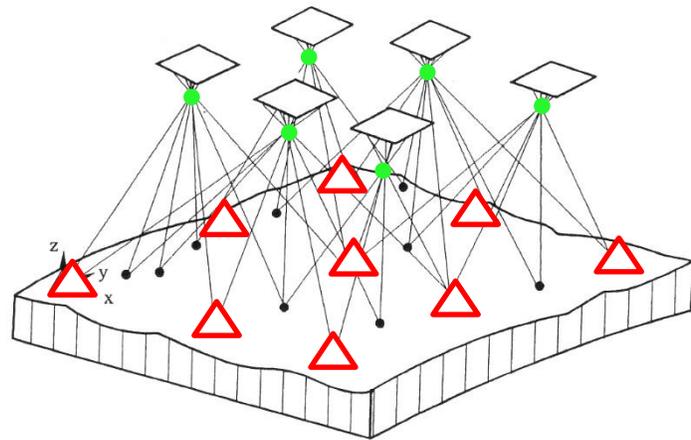


Korrekturdienst

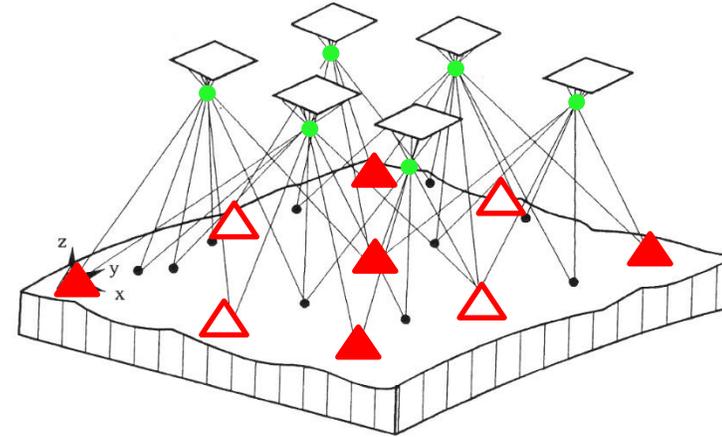
Quelle: <https://sapos.de/>

Qualität der DG nicht gleichbleibend!

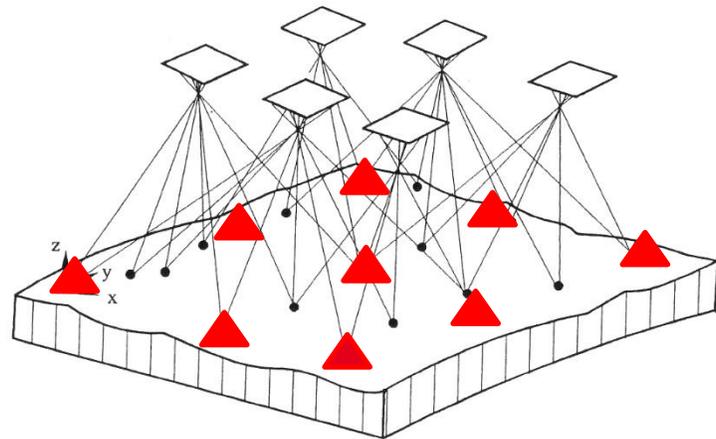
Georeferenzierung – Trivial oder „tricky“



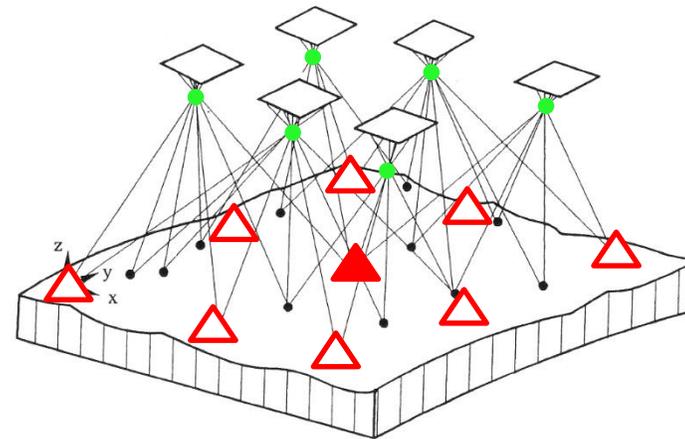
Direkte Lagerung (DG)



Integrierte Lagerung (DG & 4 bzw 5 GCP)



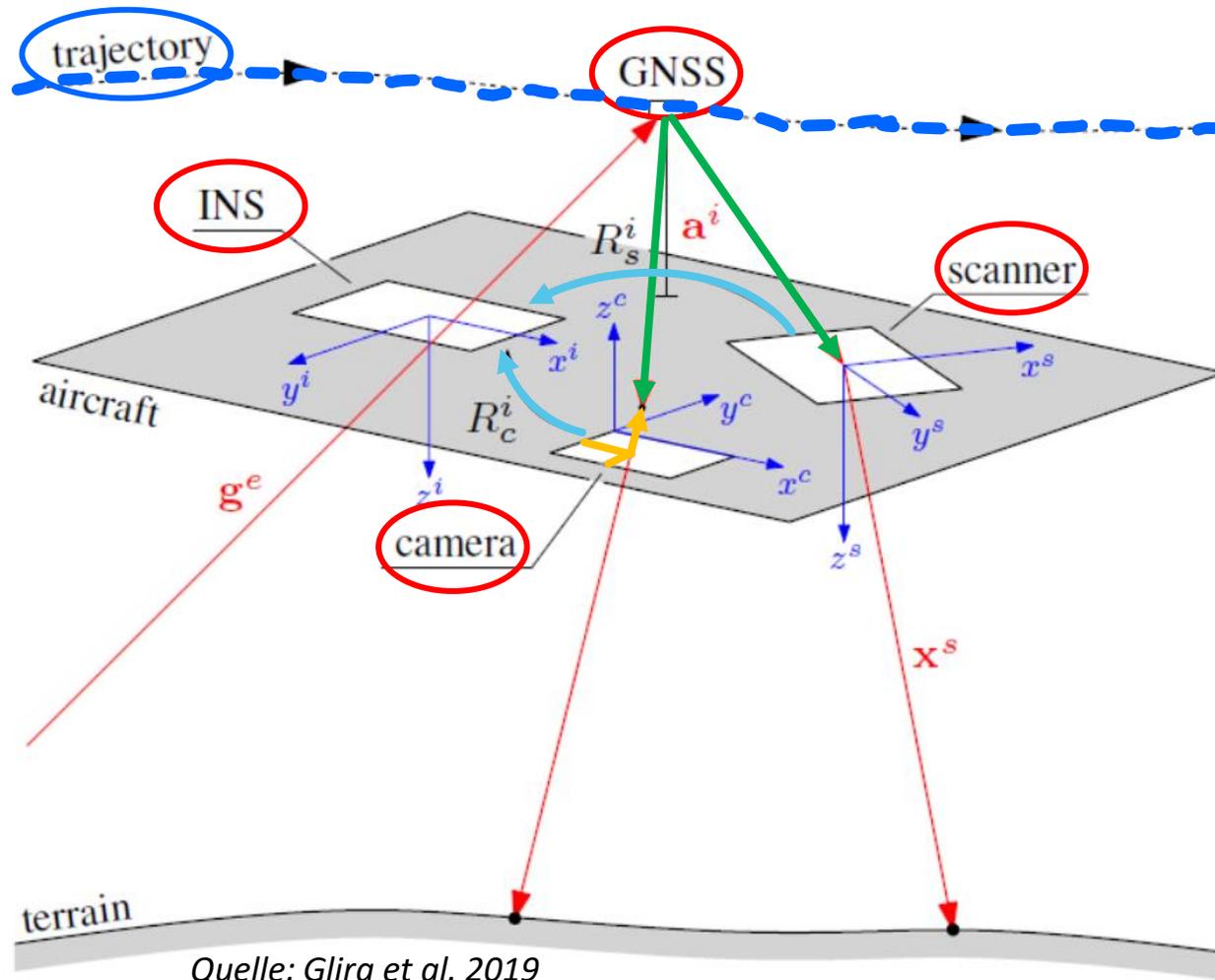
Indirekte Lagerung (GCP)



Integrierte Lagerung (DG & 1 GCP)

-  Passpunkt (GCP)
-  Kontrollpunkt (CP)
-  ÄORI - Äussere Orientierung (RTK/PPK)

Position und Orientierung des UAV im 3D-Raum



- ← Lever arms (Hebelarme)
- ← Misalignment
- ← Innere Orientierung der Kamera

Sensoranordnung auf einer luftgestützten Plattform.

Quelle: Glira et al. 2019

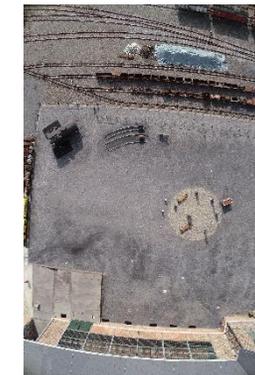
Bildbasierte Punktwolke

Digitale Kamera

- Punktuelle Erfassung
- Flächenhafte Abtastung (Foto)



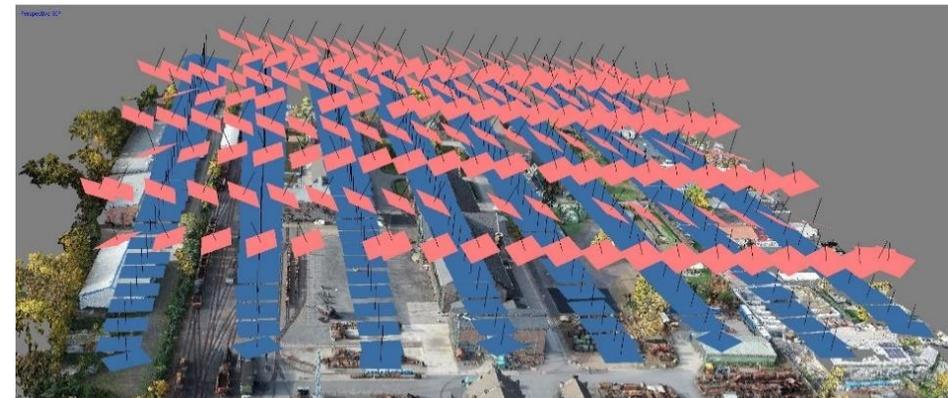
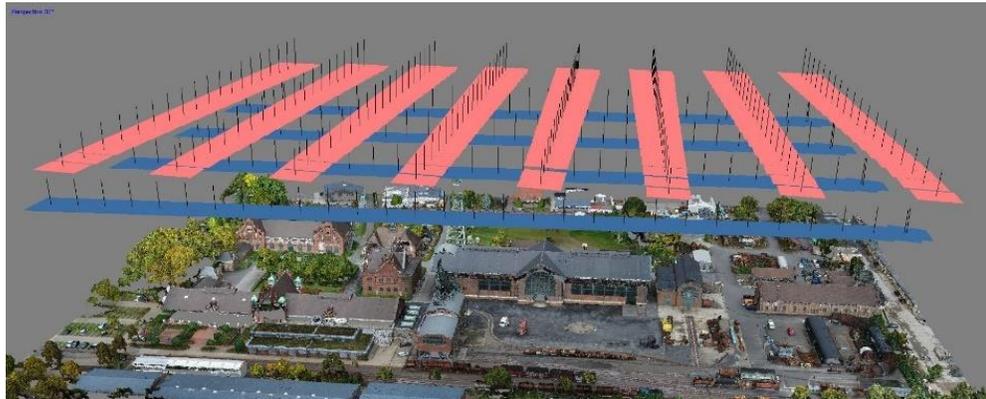
Quelle der Fotos: Hersteller



Bildbasierte Punktwolke

Qualitätsbeeinflussende Faktoren (Bildflugplanung):

- **Kreuz-Befliegungen** und **Befliegungen in unterschiedlichen Höhen** verbessern die Möglichkeiten der notwendigen Kamerakalibrierung und erhöhen die Gesamtgenauigkeit der Bildorientierung (linkes Bild).
- Ebenso verbessern **Flüge mit Schrägaufnahmen** die Kamerakalibrierung aufgrund der größeren Tiefe der Bildblöcke (rechtes Bild).



LiDAR-basierte Punktwolke

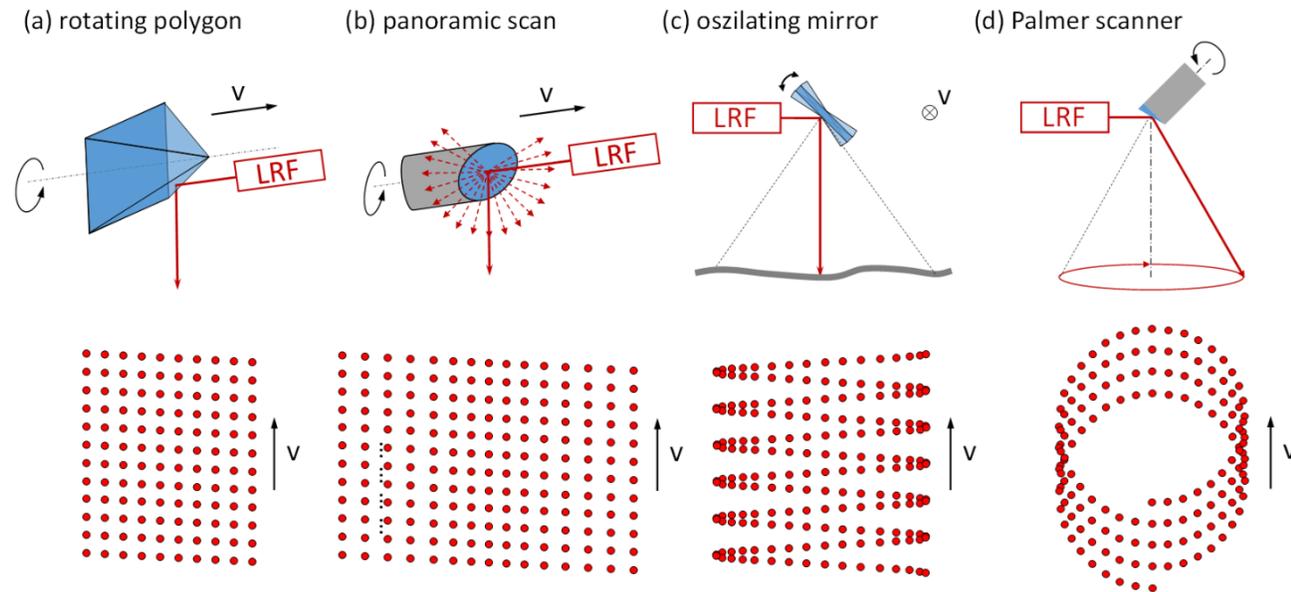
Laserscanner (LiDAR)

- Kontinuierliche Erfassung
- Abtastung über Scanmuster



Quelle der Fotos: Hersteller

LRF – Laser Range Finder



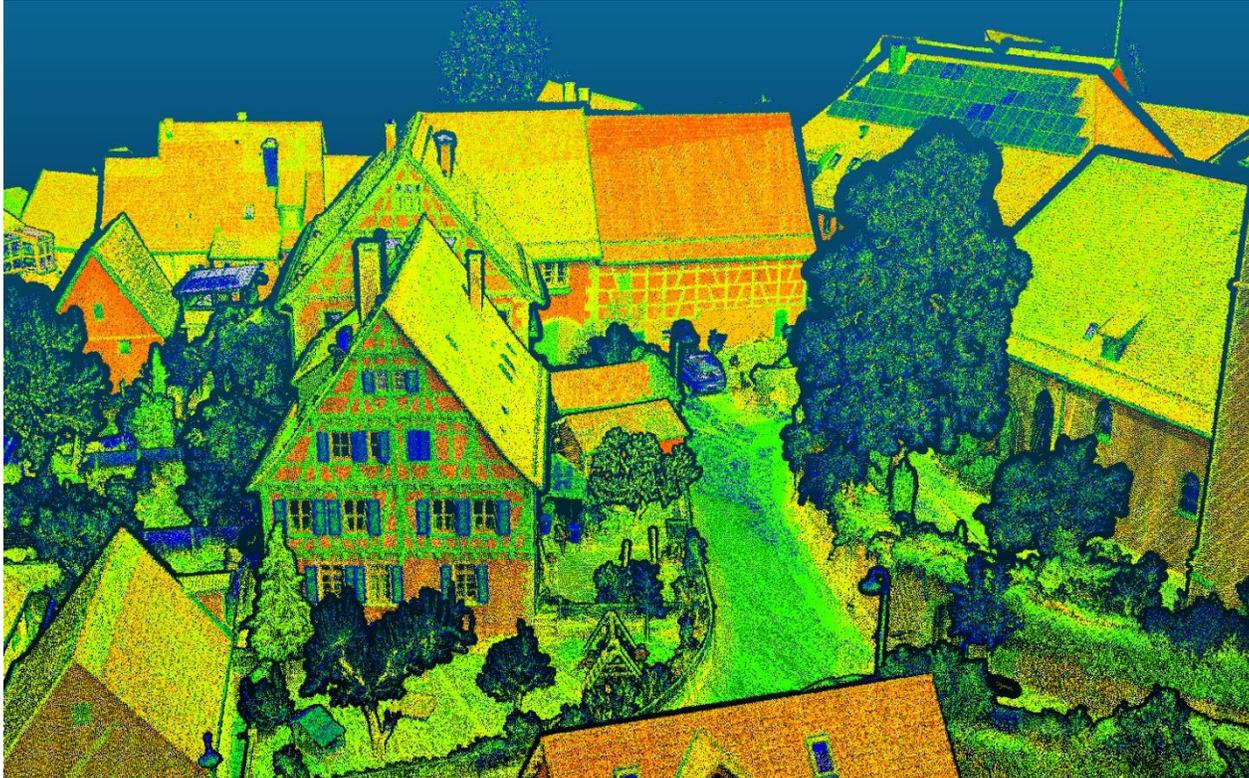
Mandlbürger: EduServ 2021, Recent LiDAR technologies

Module 6: UAV - What's new?

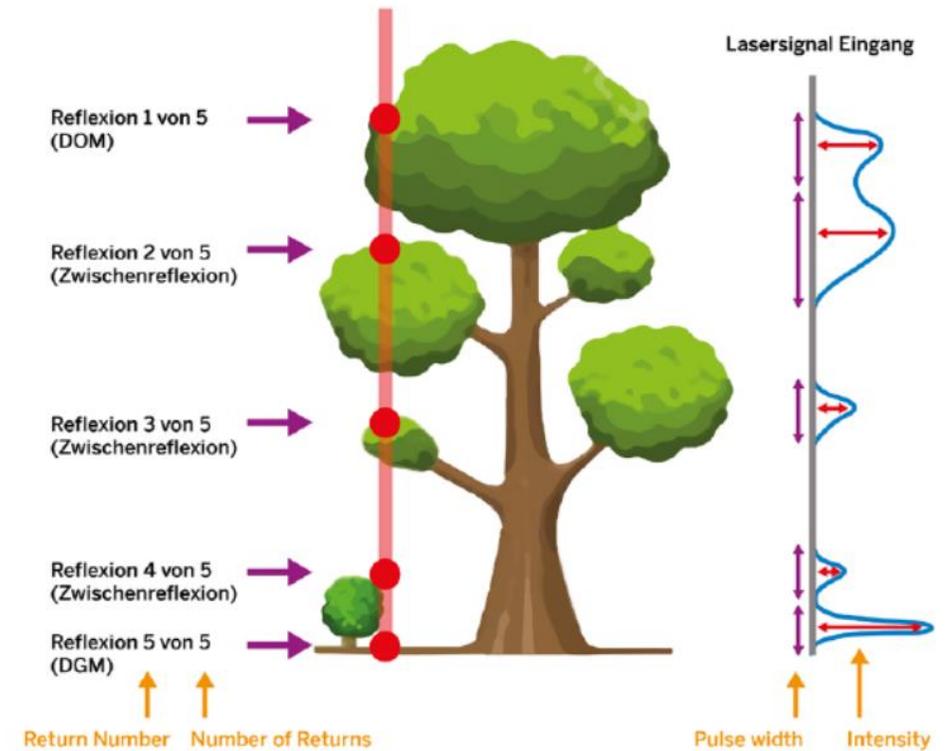
15

Quelle: G. Mandlbürger (TU Wien)

LiDAR-basierte Punktwolke



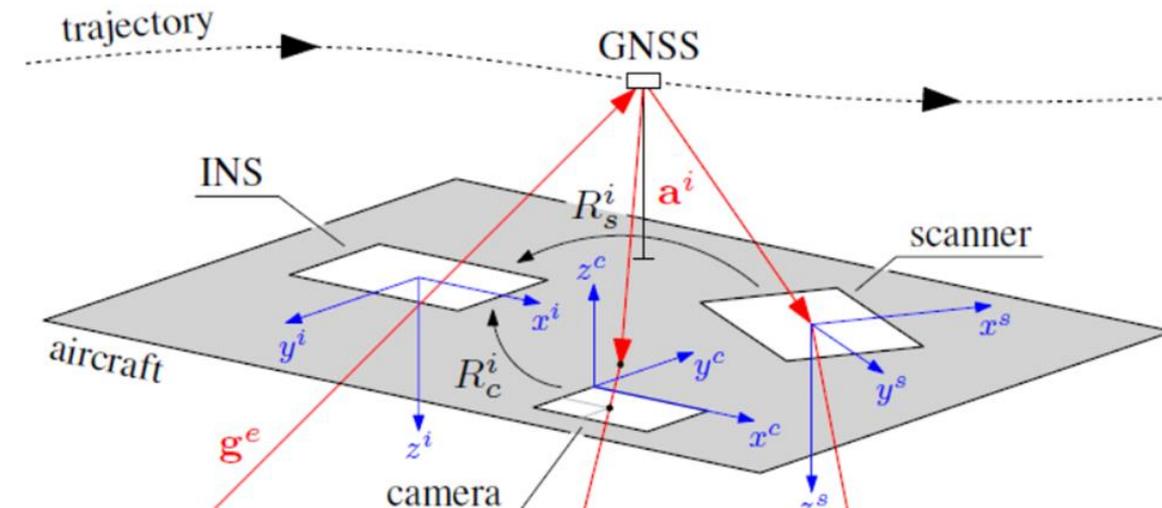
Quelle: Haala et al. 2019, Sensor: RIEGL VUX1-LR.



Quelle: Geobasis NRW

Werkskalibrierung Laserscanner

- Multi-Sensor-Systeme werden im Werk einer (strengen) Systemkalibrierung unterzogen.
- Diese Kalibrierung bestimmt die **intrinsische Beziehung** zwischen den Elementen der Sensorplattform.
- Beim Betrieb der Plattform können **zusätzliche dynamische Fehler** auftreten.



Quelle: Glira et al. 2019

Dynamische Fehler

- UAVs sind i.d.R. mit MEMS-Navigationssensoren ausgestattet, die eine hohe Genauigkeit aufweisen. Diese sind jedoch mit dynamischen Fehlern behaftet.
- Daraus resultierend treten dynamische Fehler auf. Diese sind bei jedem Projekt vorhanden und können nicht vermieden werden.
- Dynamische Fehler sind im Gegensatz zu statischen Kalibrierungsparametern zeitabhängig, was eine Tendenz, dass sie zeitabhängig sein zu können.

„Schwache“ Bestimmung der Trajektorie

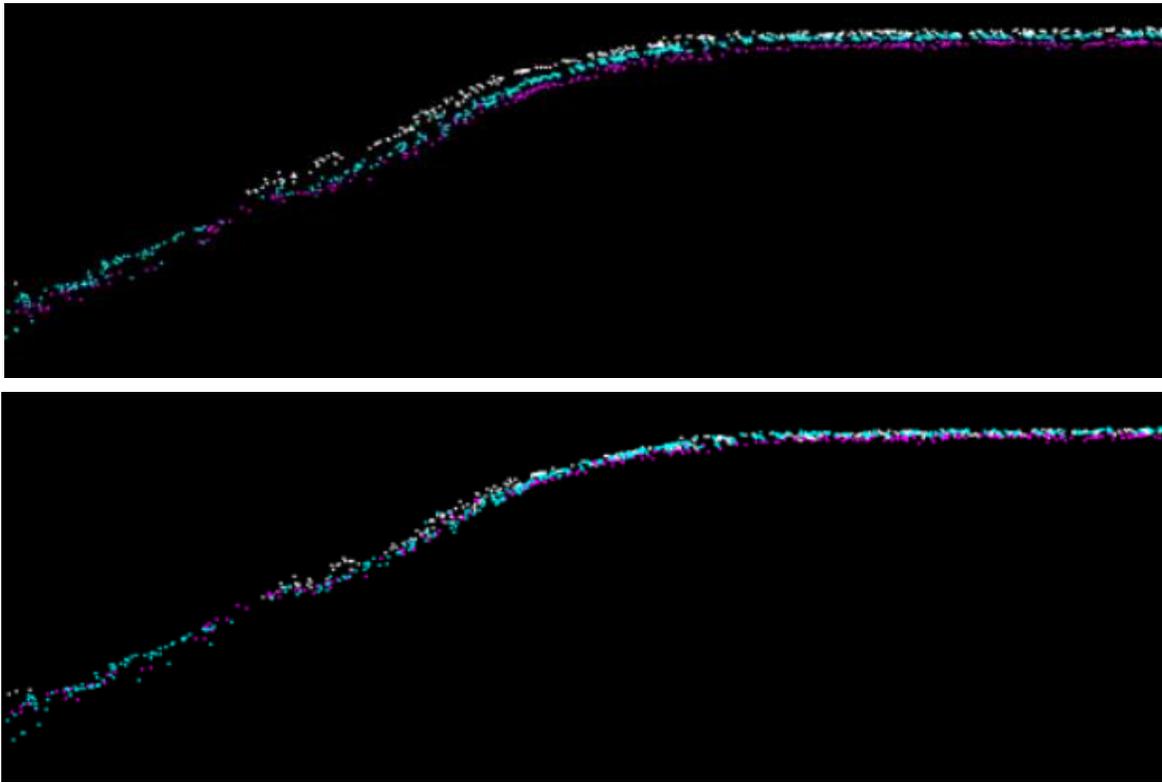
Dynamische Fehler beim LiDAR-Flug

- Trajektorien verschiedener Flüge an verschiedenen Tagen können einen **Versatz** oder eine **Verschiebung** zwischen den Flugstreifen aufweisen.
- Abweichungen in der Trajektorie werden als **Diskrepanzen in der Punktwolke** sichtbar, wenn mehrere Scans denselben physischen Bereich beobachten (überlappende Bereiche).

Herangehensweise:

Eine nachträgliche Streifenanpassung (-ausgleichung) nutzt Überlappungen, um Fehler der gemessenen Trajektorie zu reduzieren und ermöglicht eine **Selbstkalibrierung** während des Fluges.

Streifenausgleichung – Beispiel TerraMatch



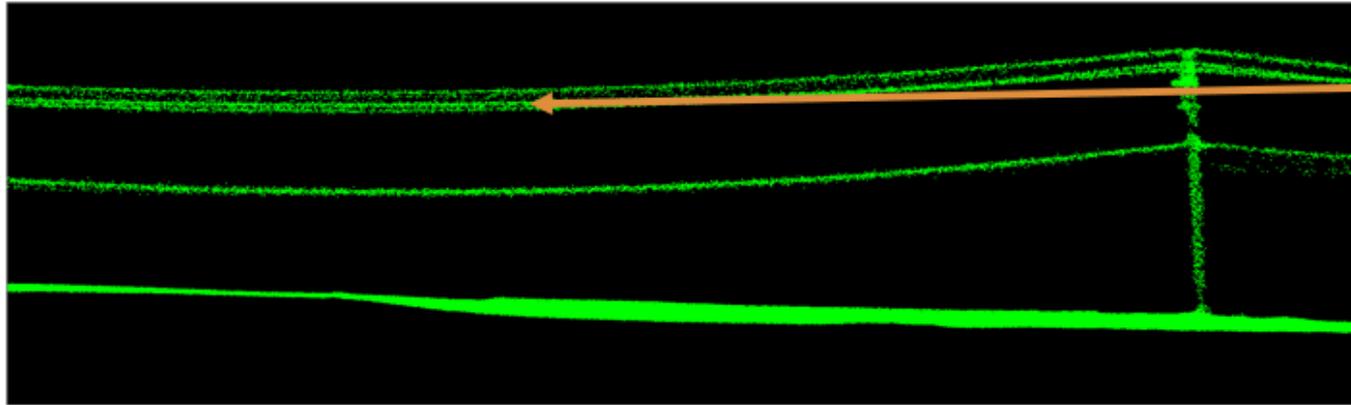
Profile aus zwei Flügen. Oben ohne und unten nach der Korrektur mittels Streifenausgleichung (Quelle: TerraMatch by TerraSolid, Finnland).

Streifenausgleichung – wie korrigiert sie?

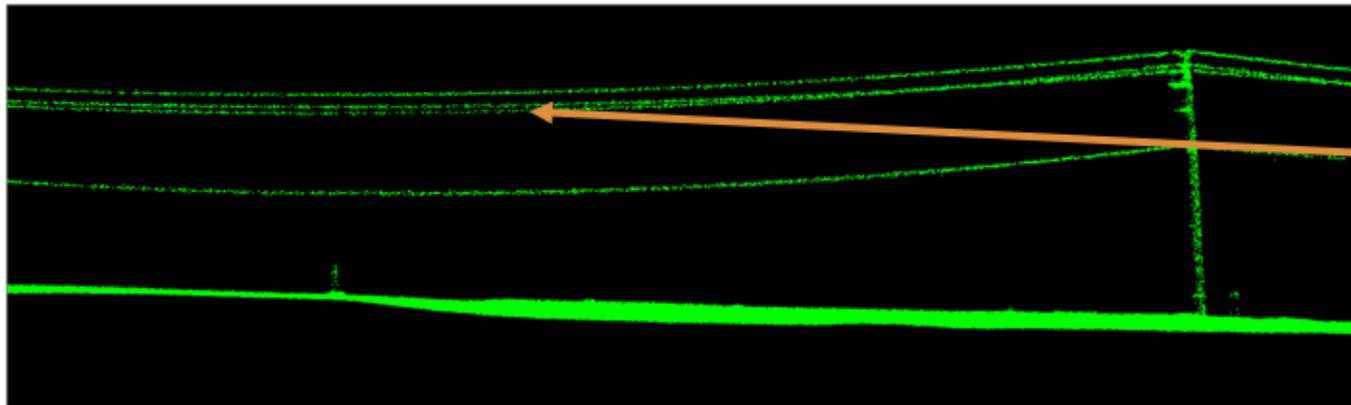
- Die Streifenausgleichung verbessert die Georeferenzierung und die Genauigkeit der Schätzung
 - der Scanner Mounting Kalibrierung
 - Korrekturparametern für die Trajektorienlösung.
- Normalerweise weisen Streifen ein konstanter Offset (ΔX , ΔY , ΔZ , $\Delta roll$, $\Delta pitch$, Δyaw) auf.
- Diese Offsete können zeitabhängige Korrekturen für jeden dieser sechs Parameter durch Splines modelliert werden.

Minimiert Differenzen zwischen Streifen

Qualität der LiDAR-Punktwolke



Rauschen in den Laserdaten verhindert automatische Leitungs-Detektion (Scanner 1).



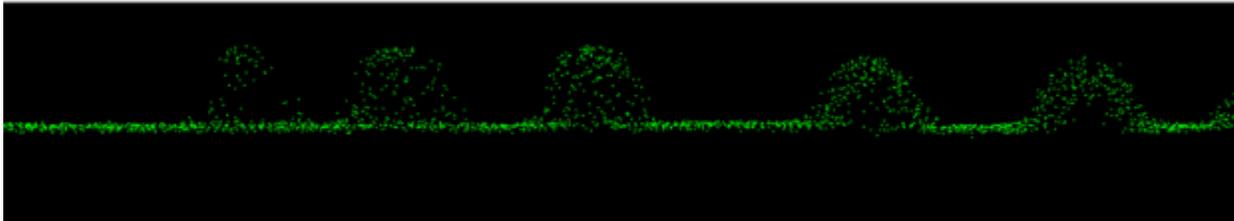
Klare Trennung der individuellen Leitungsverläufe (Scanner 2).

Quelle: G. Mandlbauer (TU Wien)

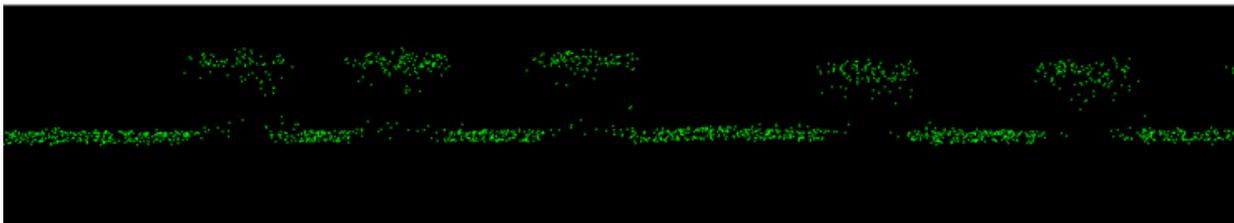
Qualität der LiDAR-Punktwolke



Lineare Anordnung rechteckiger Lüfter



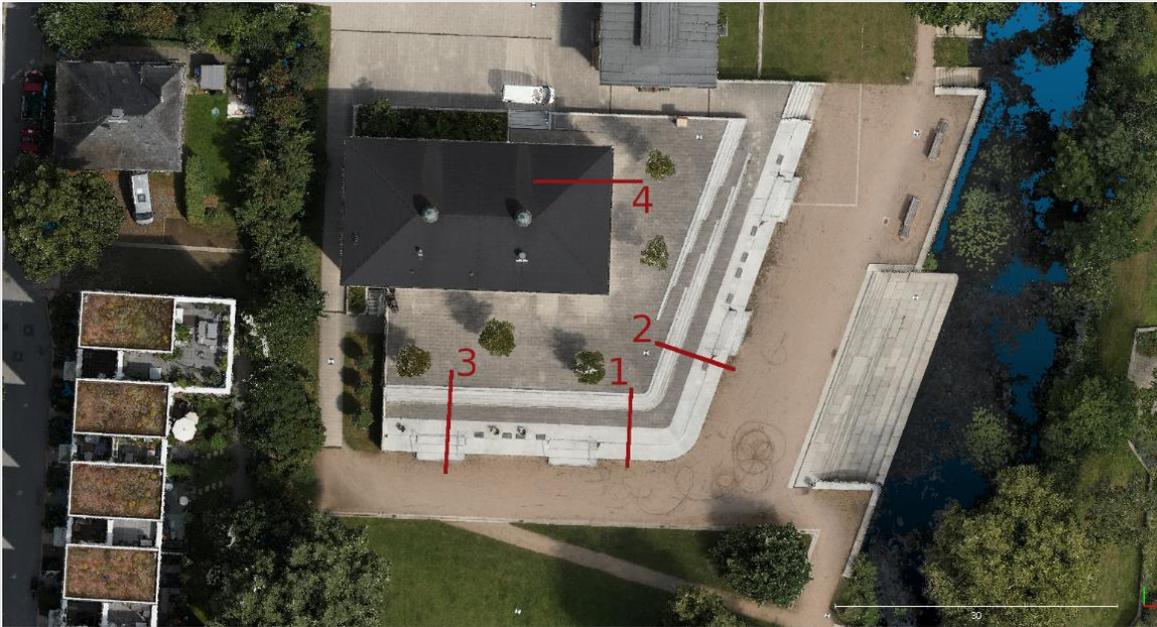
Die Gestalt der Lüfter wird in der Punktwolke stark verformt – möglicherweise durch einen **Glättungsfilter** (Scanner 1).



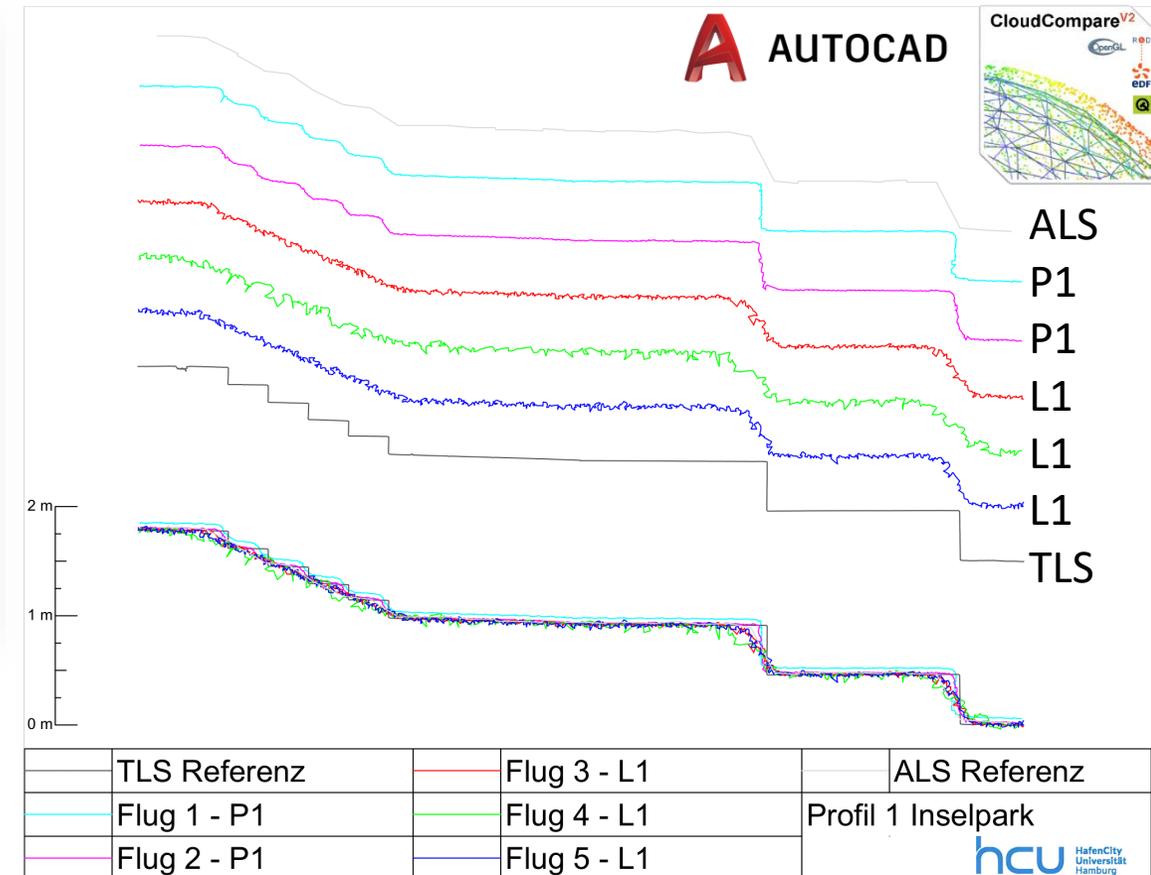
Die Punktwolke gibt die Gestalt der Lüfter korrekt wider (Scanner 2).

Quelle: G. Mandlbauer (TU Wien)

Qualität der 3D Punktwolke

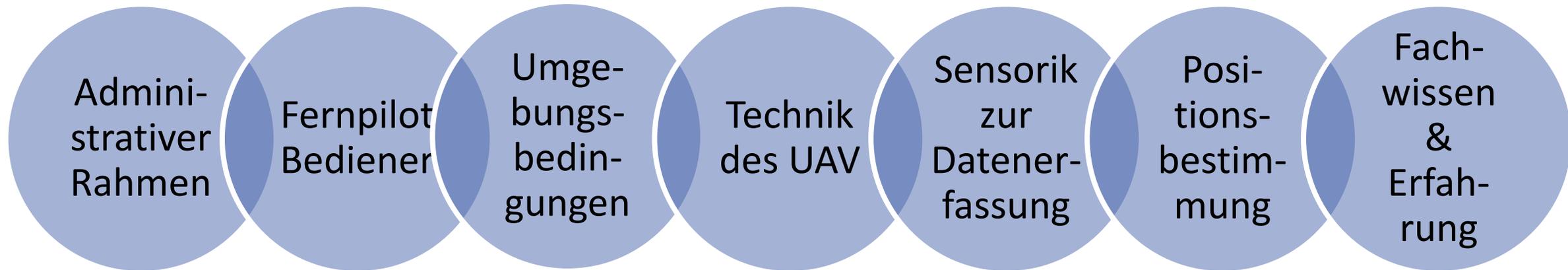


UAV-Testfeld Hamburg Inselpark
 Vergleich ausgewählter Profile aus
DJI Livox L1 sowie Digitalkamera **P1** mit
 TLS Referenzdaten (FARO Focus3D X330)



Quelle: Kersten et al. 2022

Qualitätssicherung – was tun?



→ ZIEL: Optimierung aller Elemente der UAV-Prozesskette!

Fazit & Ausblick

Die simultane Kalibrierung der UAV-Mess-Sensoren ist zwingend!

- Achten Sie auf Flugkonfigurationen, wenn Sie gleichzeitig Ihre nicht-metrische UAV-Kamera kalibrieren.
- Die Kalibrierung von LiDAR-Systemen durch die Hersteller ist nur eine Grundlage, die für weniger wertige Anwendungen genutzt werden kann.
- Die Streifenausgleichung bietet die Möglichkeit Systemparameter zu kalibrieren, die zu einer Verbesserung der Punktwolkenqualität führen.

Fazit & Ausblick

- Am Markt verfügbare geodätische ... nächste Leistungsmerkmale, die direkt ... des Ergebnisses haben.
- Die System ... unabhängige Einrichtungen (z.B. ... muss (auch) zukünftig gewährleistet

Bringen Sie Ihr photogrammetrisches Wissen auf einen aktuellen Stand!

... Weise für die Wirkweisen eingesetzter Software!



Deutsche
Gesellschaft für
Photogrammetrie,
Fernerkundung und
Geoinformation

Kompetenz seit 1909!

www.dgpf.de