

hcu

HafenCity
Universität
Hamburg



UAV-Photogrammetrie für den Einsatz in der Katastervermessung

Thomas P. Kersten, Frederik Preuß & Dagmar Teten

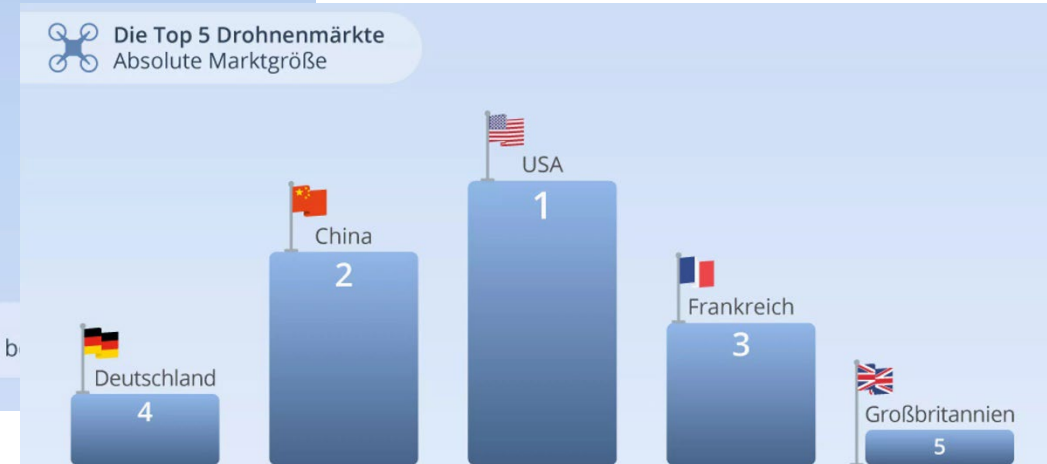
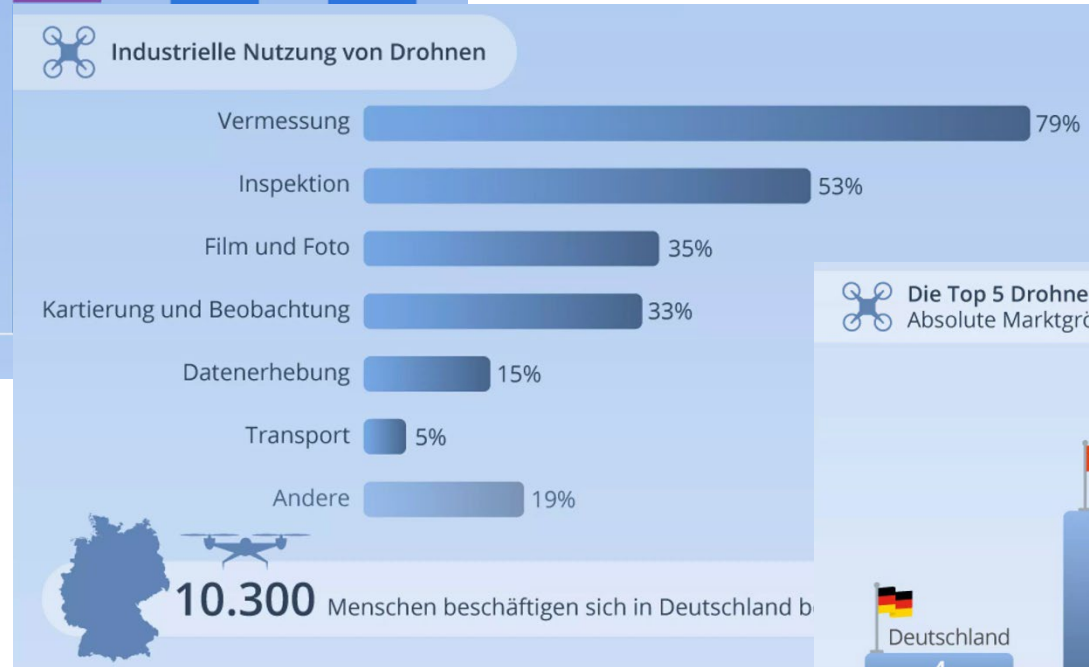
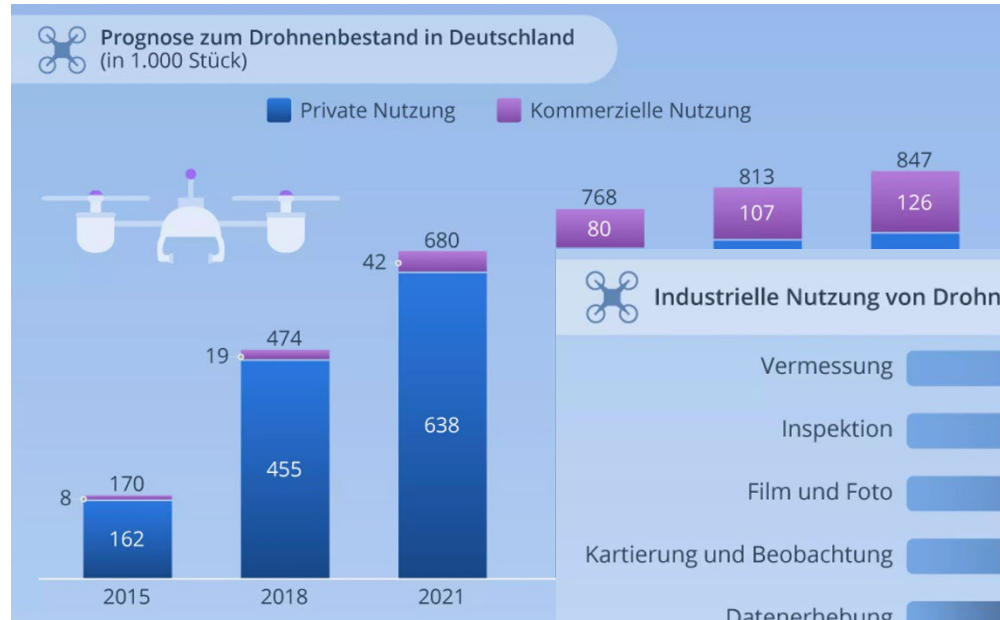
Agenda

- Einführung
- Projektvorstellung
- Amtliche Gebäudeeinmessung
- UAV-Photogrammetrie
- Auswertung & Ergebnisse
- Vergleich beider Verfahren
- Empfehlungen für den Einsatz von UAV-Photogrammetrie
- Fazit & Ausblick



1. Einführung

Der deutsche Drohnenmarkt





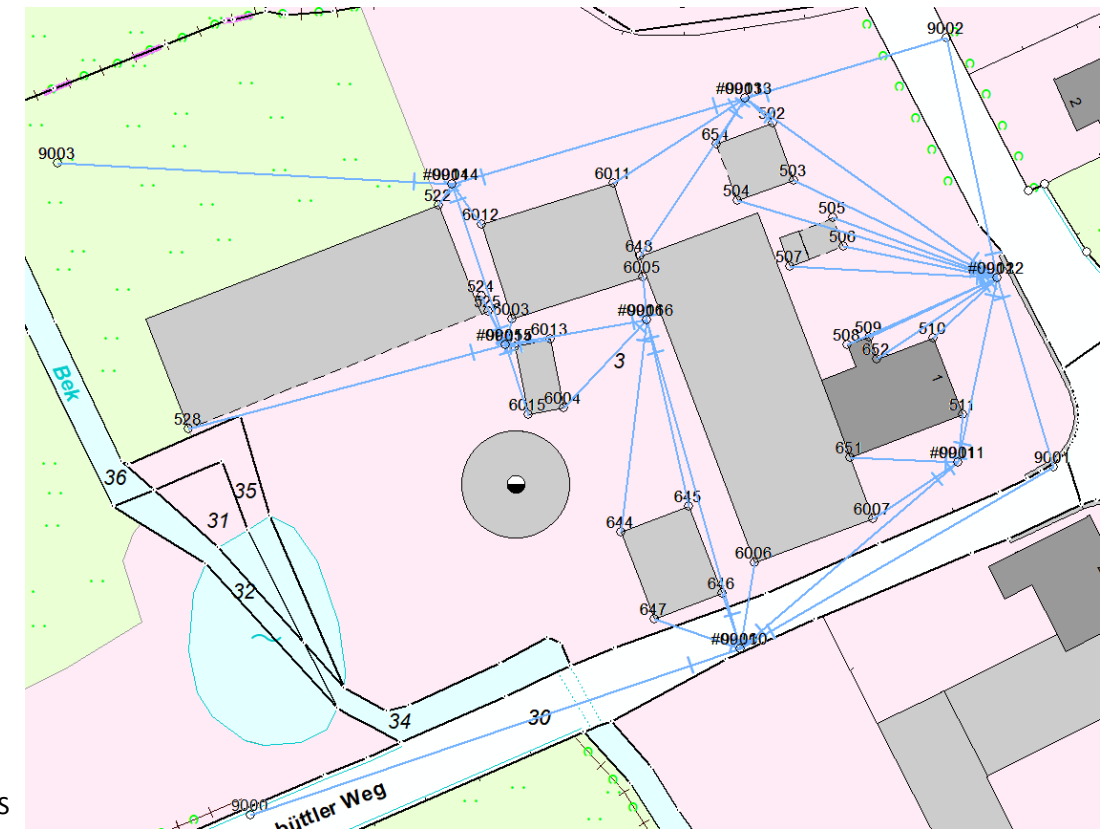
2. Projektvorstellung

- Projekt – Vergleich einer Gebäudeeinmessung durch klassische Tachymetrie und UAV-Photogrammetrie
- Aufnahmegebiet – Gebäudeensemble eines Bauernhofes bei Albersdorf
- Größe des Aufnahmegebietes: ca. 2 Hektar
- Tachymetrie als Referenz für UAV-Photogrammetrie
- Vergleich beider Verfahren hinsichtlich Datenqualität, Wirtschaftlichkeit und Aufnahmeverfahren
- Ableitung von Empfehlungen für eine Gebäudeeinmessung durch UAV-Photogrammetrie
- Projektpartner – HCU Hamburg & LVG Elmshorn



3. Amtliche Gebäudeeinmessung

- Instrumentarium – Tachymeter Leica TS16 & GNSS-Antenne Leica GS16
- Erkundung des Messgebietes und Planung der Messung (Standpunkte)
- Einmessung der Datumspunkte durch GNSS
- Polare Aufnahme der Gebäude mit Tachymeter von 7 Standpunkten
- Zusätzliche Aufnahme von 10 Passpunkten für die UAV-Photogrammetrie
- Auswertung mit der Software 3A-Editor von VertGIS basierend auf der ArcGIS-Plattform von ESRI



4. UAV-Photogrammetrie

- Instrumentarium – DJI Phantom 4 Pro V2.0 KlauPPK mit proprietärer Kamera Zenmuse X4S (c= 8,8mm, 20 MPixel) und mit Bedieneinheit
- Signalisieren der markierten Passpunkte am 15.11.2022 mit Zielmarken
- Bildflugplanung am iPad vor Ort und Bildflüge mit GNSS-PPK



Parameter	Längsbefliegung (Flug 1)
Flughöhe	40 m
Aufnahmewinkel	Nadir
GSD (Bildmitte)	10,9 mm
Längs-/Querüberlappung	80% / 60%
Flugdauer	13 min
Anzahl Bilder	219



4. UAV-Photogrammetrie

■ Bildfluggebiet – Überlappung und Passpunktverteilung



- 3.5 cm
- 2.8 cm
- 2.1 cm
- 1.4 cm
- 0.7 cm
- 0 cm
- -0.7 cm
- -1.4 cm
- -2.1 cm
- -2.8 cm
- -3.5 cm

○ x 500

● Control points

⊣ Check points

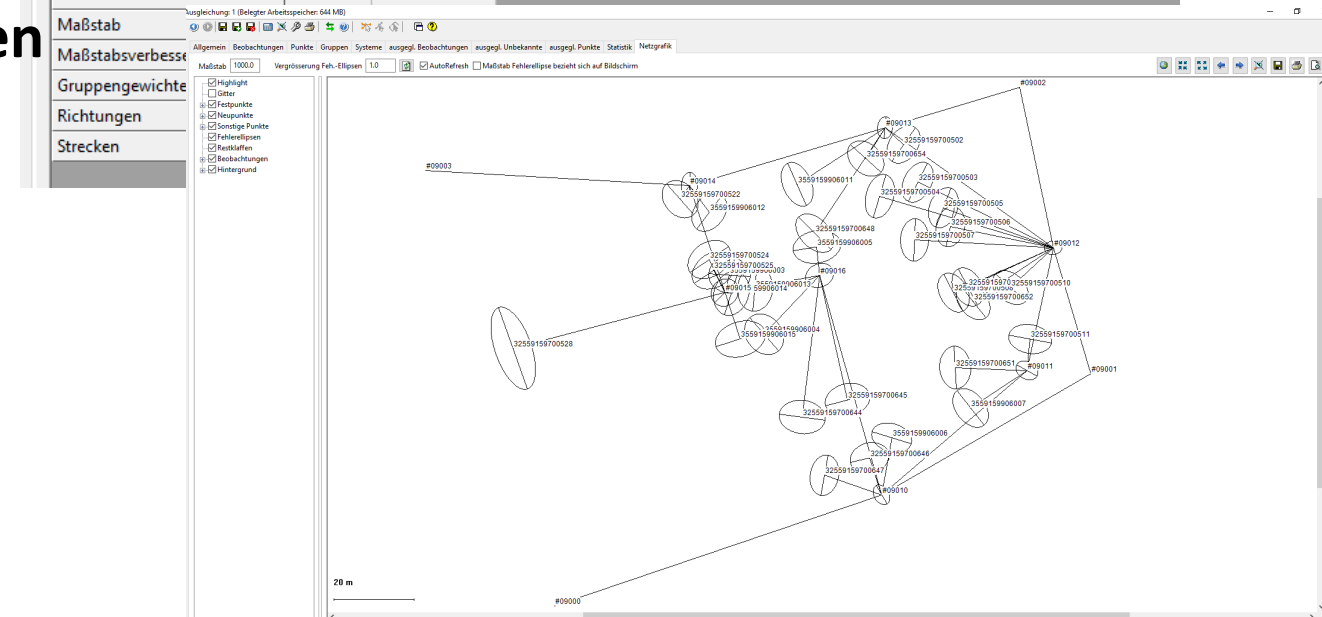
50 m

5. Auswertung & Ergebnisse

- Auswertung der amtlichen Gebäudeeinmessung mit Tachymeter
- Import der Messdaten und Ausgleichung im 3A-Editor
- Die Standardabweichung der 2D-Punkte $\sigma_{XY} = 6 \text{ mm}$
- Bestimmung der Gebäudekoordinaten
- Aktualisierung der Datenbestände


Ausgleichung: 1 (Belegter Arbeitsspeicher: 644 MB)

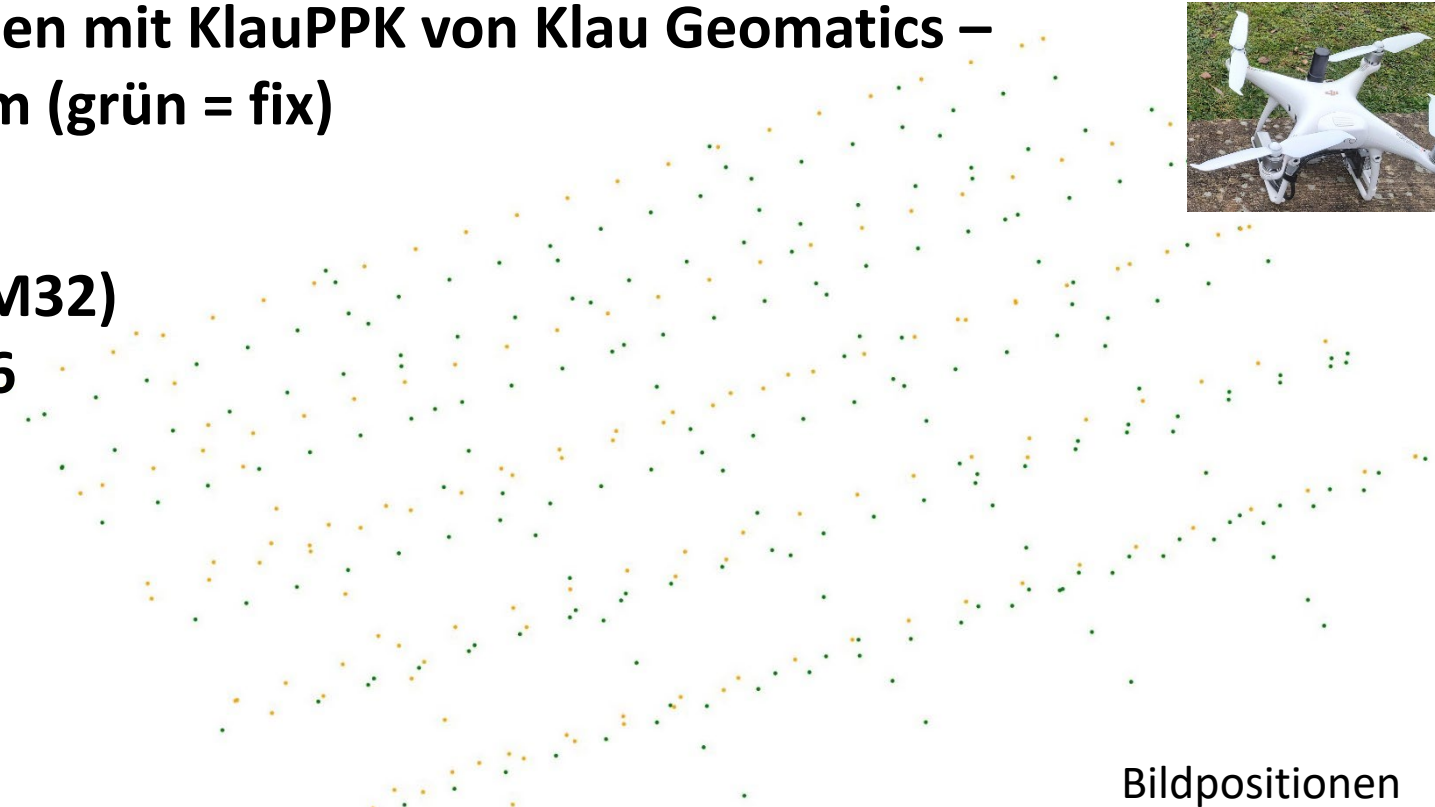
Allgemein	Beobachtungen	Punkte	Gruppen	Systeme	ausgegl. Beobachtungen	ausgegl. Unbekannte	ausgegl. Punkte	Statistik	Netzgrafik
Anzahl der Beobachtungen	104								
Anzahl der Unbekannten	86								
Freiheitsgrade	18								
s0	0.910								
Globaltest	1.208								
Max. NV	2.41								
Stdabw. Punkt 2D	0.006								
Anzahl Iterationen	1								
Ausgleichungsziel erreicht.									
	Stdabw.								



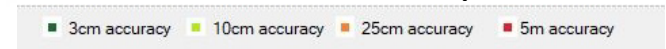


5. Auswertung & Ergebnisse

- **Aerotriangulation des UAV-Bildverbandes mit Agisoft Metashape 1.8.4**  Metashape
- **Signalisierte Passpunkte mit zweifacher GNSS-Messung –**
 $\sigma_{XY} = 1-2 \text{ cm}$ (Lage), $\sigma_z = 2-3 \text{ cm}$ (Höhe)
- **Bestimmung der Bildpositionen mit KlauPPK von Klau Geomatics –**
Positionsgenauigkeit von 3 cm (grün = fix)
und bis 25 cm (gelb = float)
- **Referenzsystem (ETRS89/UTM32)
und Höhensystem DHHN2016**



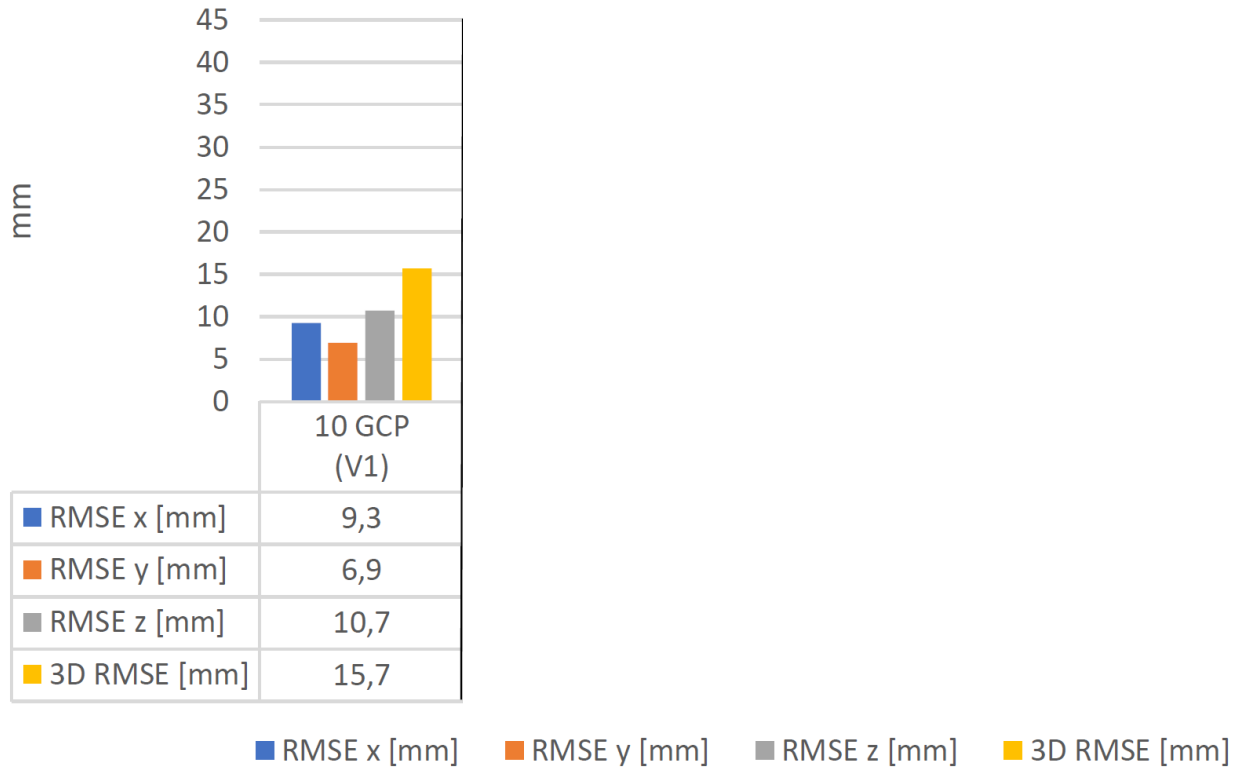
Bildpositionen



5. Auswertung & Ergebnisse

Ergebnisse der Bündelblockausgleichung mit verschiedenen Konfigurationen

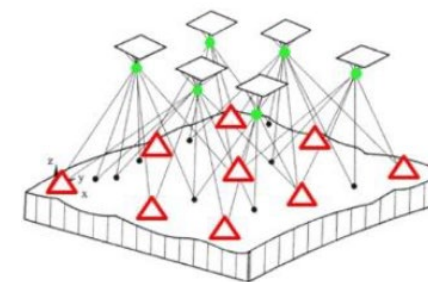
Passpunktkonfigurationen mit KlauPPK



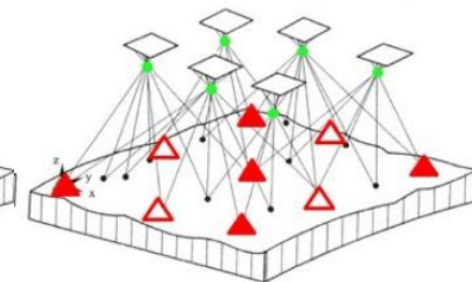
GCP: Ground control points (Passpunkte), CP: Check points (Kontrollpunkte)



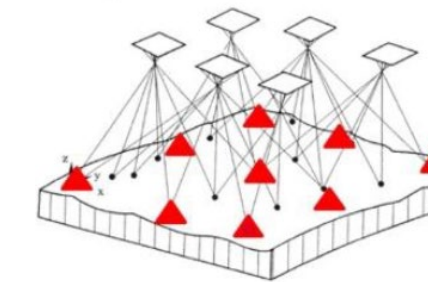
▲ GCP ▲ Check point ● EOR (RTK-GNSS)



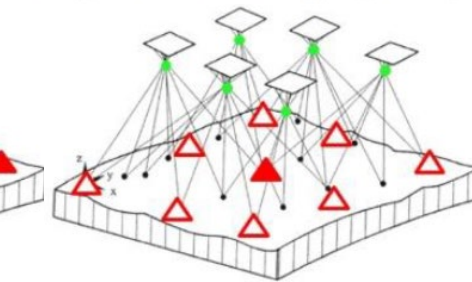
Direct Orientation (RTK)



Integrated Orientation (RTK/5 GCP)



Indirect Orientation (all GCP)



Integrated Orientation (RTK/1 GCP)

5. Auswertung & Ergebnisse

- Generierung einer dichten farbigen Punktwolke (110 Mio. Punkte) aus den Bilddaten (Variante KlauPPK + 1 GCP)
- Photogrammetrische Bestimmung der Gebäudekoordinaten
- Bedingungen:
 - Die zulässige Abweichung $[d] < 5 \text{ cm}$ darf nicht überschritten werden (Nachweis der Identität bei Mehrfachbestimmung)
 - Es müssen die Koordinaten der Gebäude- und Bauwerks-eckpunkte angemessen werden, die den Gebäudegrundriss wiedergeben (Messung der Dachkanten nicht ausreichend)
- Drei Messvarianten:
 - Direkte Messung in der (dichten) Punktwolke
 - Durchführung eines räumlichen Vorwärtsschnittes in den orientierten Bildern
 - Methode Geradenschnitt bzw. mit Hilfe eines Schnittes zweier Ausgleichsebenen



5. Auswertung & Ergebnisse

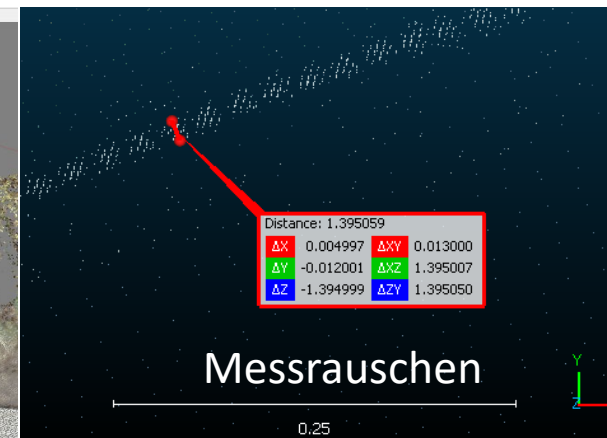
- Gebäudekoordinaten durch direkte Messung in der dichten Punktwolke
- Rauschen der Punktwolke lag meistens bei ca. 1-2 cm
- Drei Messungen je Gebäudeeckpunkt in der Punktwolke
→ Mittelung der Koordinaten
- 84 % der gemessenen Gebäudeeckpunkte lagen innerhalb der zulässigen Abweichung (bestes Ergebnis der drei Methoden)
- Durchschnittliche lineare Abweichung: 1,4 cm (max. 24 cm)
→ wichtig: Schrägaufnahmen!



Schrägansicht



Fehlende Punktwolke

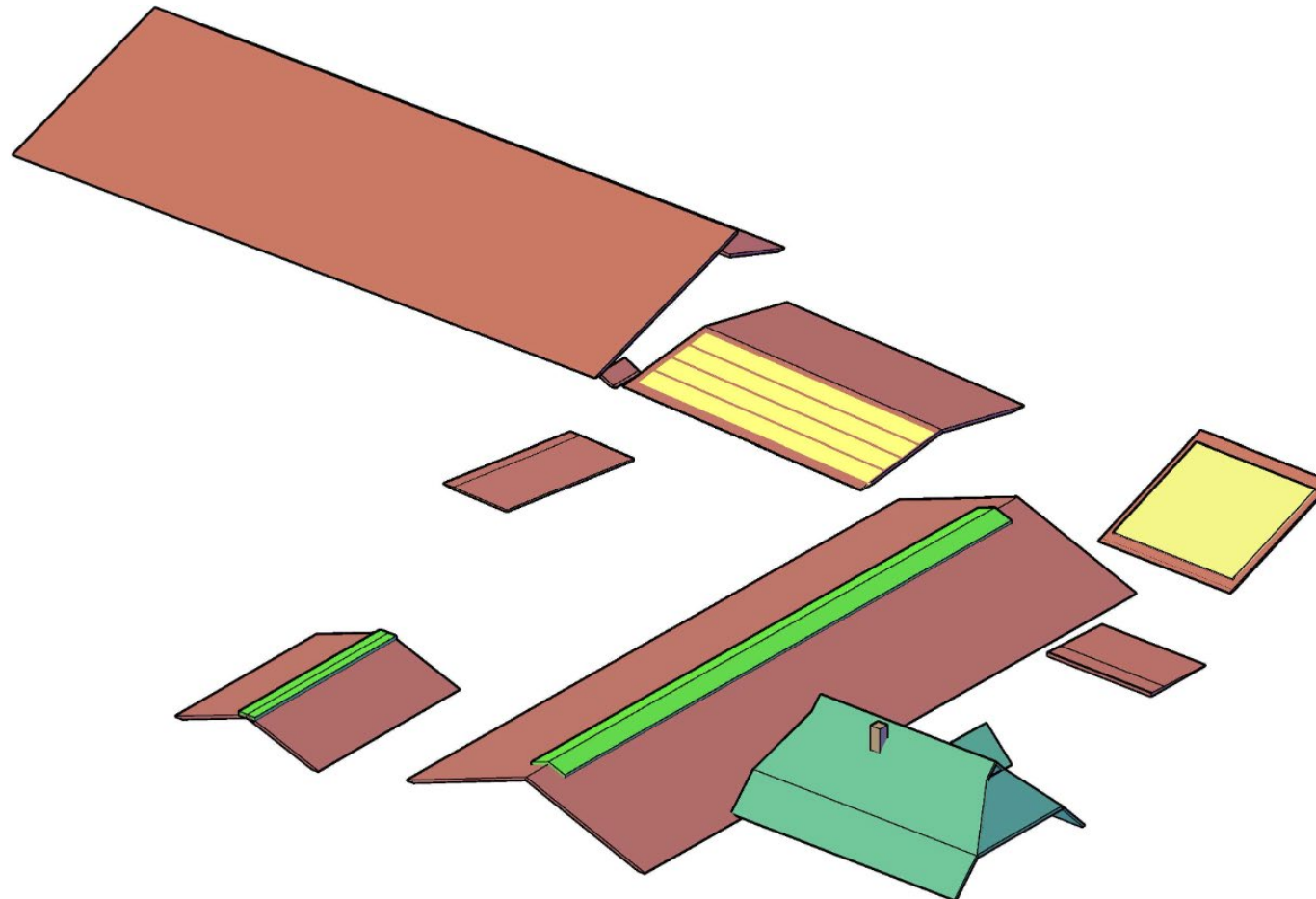


Draufsicht



5. Auswertung & Ergebnisse

- Weitere Produkte (Mehrwert) – Dachlandschaften
- Punktmessungen in der Punktwolke & 3D-Modellierung in AutoCAD

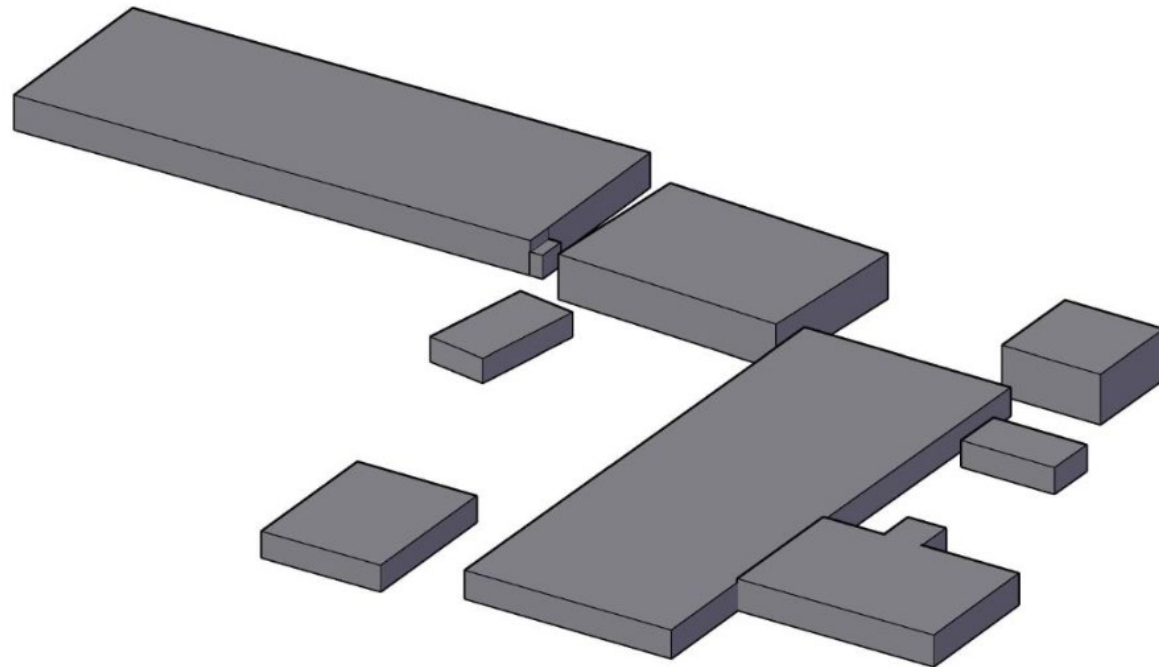




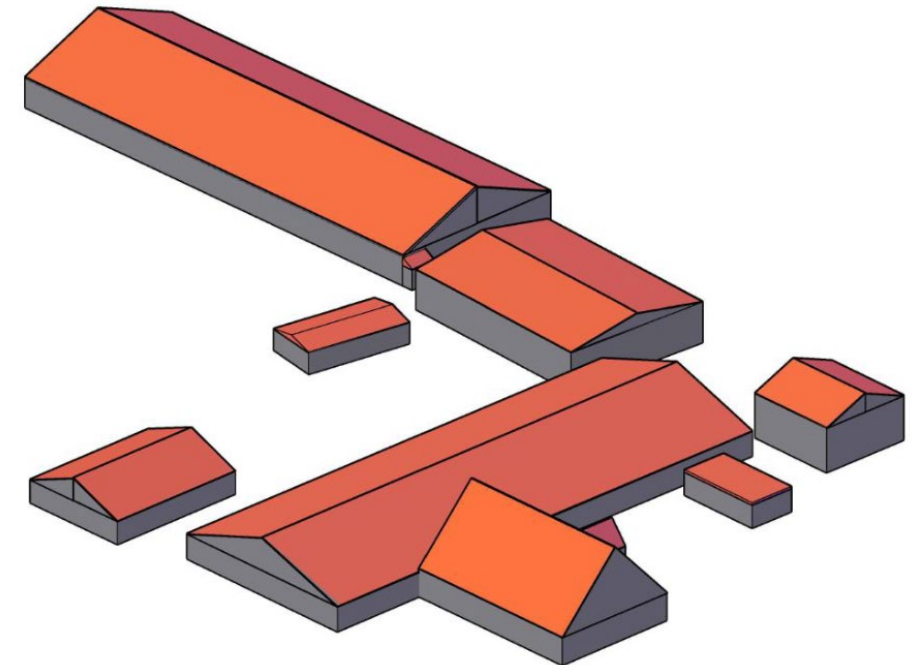
5. Auswertung & Ergebnisse

- Weitere Produkte (Mehrwert) – 3D-Gebäudemodelle LoD1 und LoD2
- Punktmessungen in der Punktwolke & 3D-Modellierung in AutoCAD

LoD1 = Block- oder Klötzchenmodell

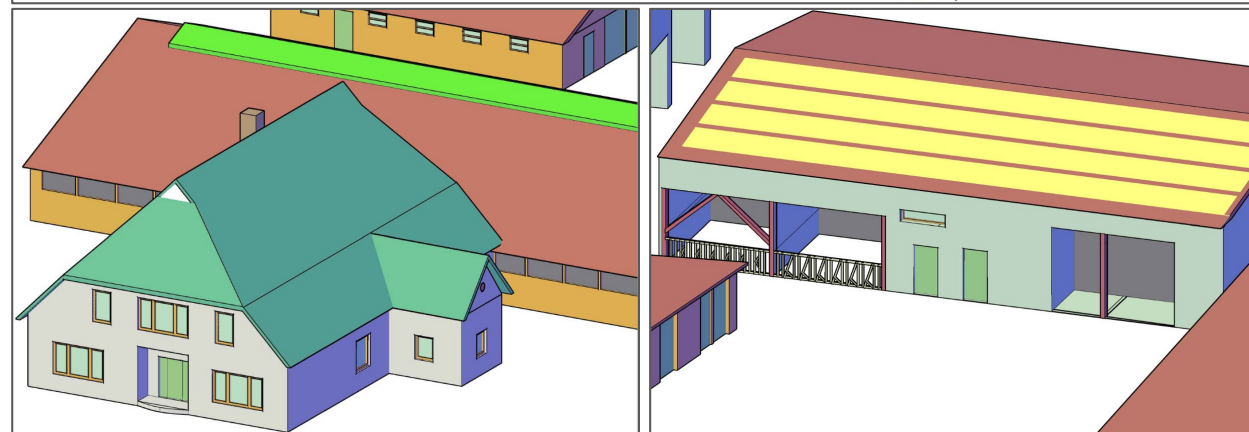
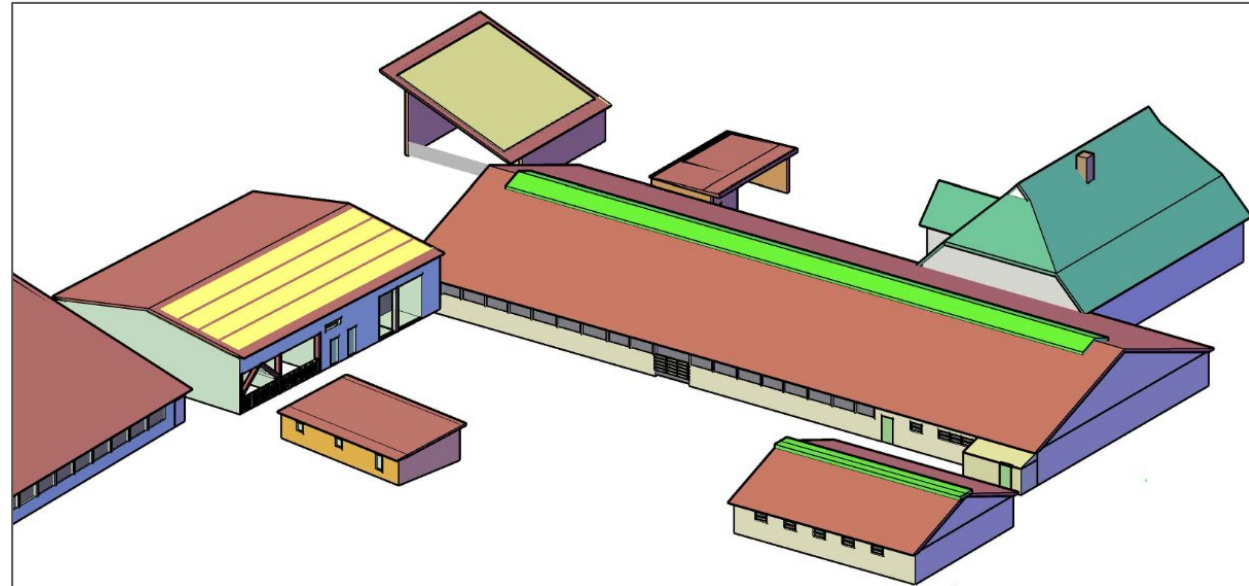
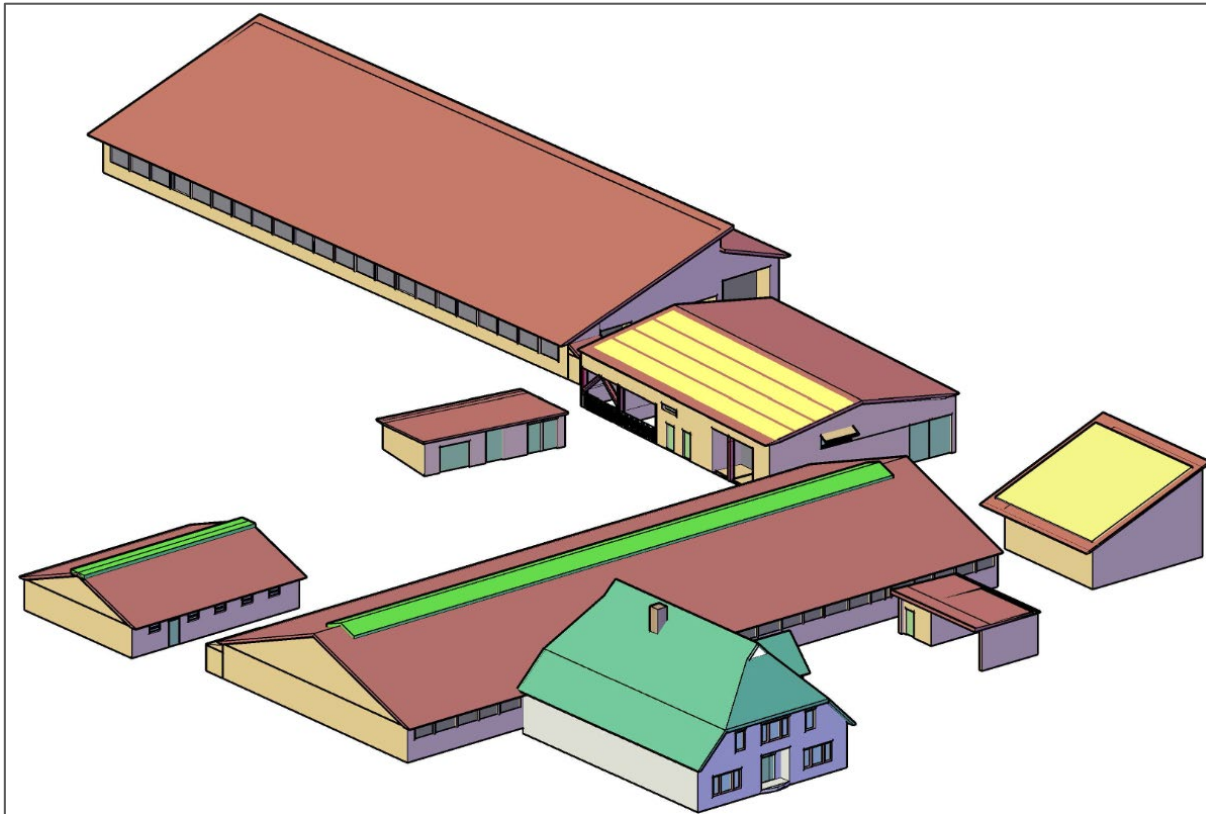


LoD2 = Gebäude mit Standarddachformen



5. Auswertung & Ergebnisse

- Weitere Produkte (Mehrwert) – 3D-Gebäudemodelle LoD3
- Punktmessungen in der Punktwolke & 3D-Modellierung in AutoCAD





5. Auswertung & Ergebnisse

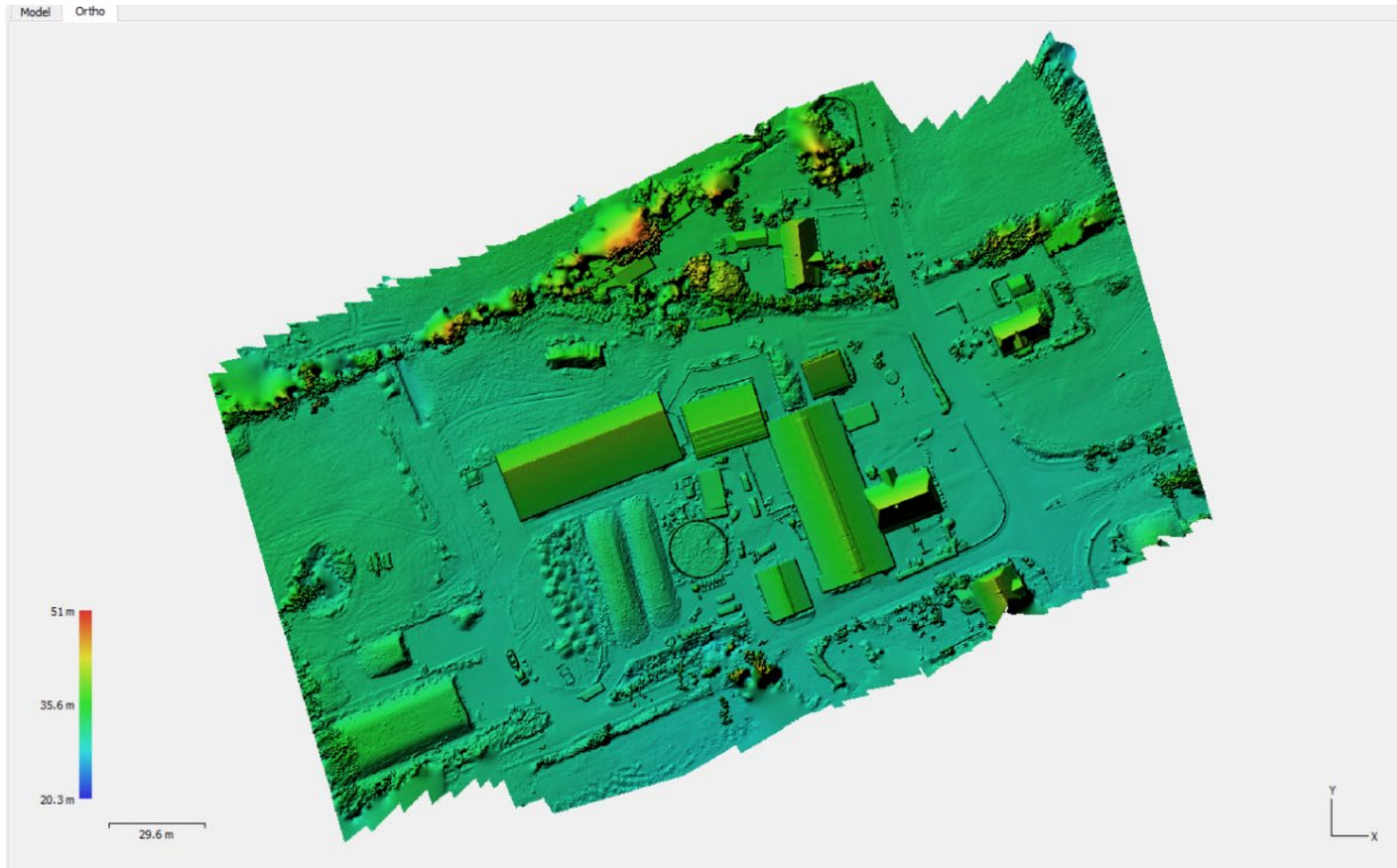
■ Weitere Produkte (Mehrwert) – Digitales Orthophoto (GSD 1,1 cm)





5. Auswertung & Ergebnisse

- Weitere Produkte (Mehrwert) – Digitales Oberflächenmodell (DOM → DGM)



6. Vergleich beider Verfahren

■ Tachymetrische Aufnahme

Standardabweichung der Gebäude- und Bauwerkspunkte: $\sigma_{XY} = 6 \text{ mm}$

32 Eckpunkte tachymetrisch aufgenommen

Nur Einzelpunkte tachymetrisch aufgenommen

■ UAV Photogrammetrie

Standardabweichung der Objektpunkte:
 $\sigma_{XY} = 8,4 \text{ mm}$

28 der 32 terrestrisch bestimmten Punkte halten die vorgegebene Messtoleranz ein (87,5 %)

Mittlere Abweichung Raumvektor: 14 mm (max. 37 mm)

Vollständige Erfassung von Gelände und Objekte durch Senkrecht- und Schrägaufnahmen (Ausnahme Südfassade)



6. Vergleich beider Verfahren

■ Zeitlicher Aufwand für jeweils zwei Personentrupp & Gerätekosten

■ Tachymetrische Aufnahme

Tachymetrische Aufnahme = ca. 4 Stunden
Auswertung im Innendienst = ca. 4 Stunden
→ 8h total

Kosten Tachymeter Leica TS16 = ca. EUR 30.000,-
Kosten GNSS-Rover Leica GS16 = ca. EUR 18.000,-
Laptop = ca. EUR 1000,-
→ Total EUR 49000,-



■ UAV Photogrammetrie

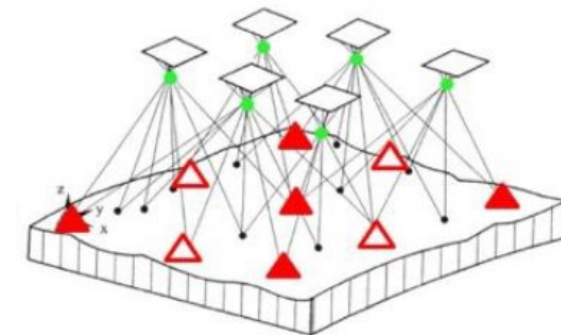
GNSS-Passpunktmessungen und Bildflug = ca. 1 Stunde
Photogrammetrische Punktbestimmung = ca. 11 Stunden
→ 12h total

Kosten DJI Phantom 4 Pro + RTK = ca. EUR 6.000,-
Kosten GNSS-Rover Leica GS16 = ca. EUR 18.000,-
Leistungsstarker Laptop = ca. EUR 3000,-
→ Total EUR 27000,-



7. Empfehlungen für den Einsatz von UAV-Photogrammetrie

- Aufnahme von Neubaugebieten oder Gebäudeensembles (Aspekt Wirtschaftlichkeit)
- UAV als Senkrechtstarter bzw. Rotorflügler (z.B. die DJI Phantom 4 Pro RTK)
- Bodenpixelgröße (GSD) bei 1,5 cm bis ca. 1 cm
- Bildflüge als Kombination einer Kreuzbefliegung inklusive von Schrägaufnahmen bei einer Flughöhe von 35-60 m mit hoher Überlappung (80%/60%)
- Positionierung des UAV über Echtzeitkorrekturdienste (z.B. SAPOS®) mit GNSS-RTK
- Signalisierung und Einmessung von mindestens einem Passpunkt, besser 5 Passpunkte zur Qualitätskontrolle
- Expertise in Photogrammetrie (Bildflug/Auswertung) aneignen (Kamerakalibrierung mit Bündelblockausgleichung)



Integrated Orientation (RTK/5 GCP)



7. Fazit & Ausblick

- UAV-Photogrammetrie – technisch geeignet für die Katastervermessung!
- Ergänzung oder Ablösung der traditionellen Messverfahren für kleine Neubaugebiete
- Flexible und wirtschaftliche Alternative gegenüber der turnusmäßigen Luftbildbefliegung und der terrestrischen Vermessung
- Mehrwert durch den hohen (Bild-)Informationsgehalt & durch weitere Produkte!
- Die rechtlichen Vorschriften lassen UAV-Photogrammetrie nicht als Messmethode für Katastervermessungen zu → Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen?
- Problemlösung Fluggenehmigungen & Drohnenzertifizierung?
- Weitere Pilotprojekte vor rechtlicher Einführung als neue Aufnahmemethode?
- Zukünftig steigender Stellenwert der UAV-Photogrammetrie in der Landesvermessung





**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

Kontakt – Prof. Dr.-Ing. Thomas P. Kersten

HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning, Henning-Voscherau-Platz 1, D-20457 Hamburg, Thomas.Kersten@hcu-hamburg.de