

hcu

HafenCity
Universität
Hamburg



UAV-Photogrammetrie für den Einsatz in der Katastervermessung

Thomas P. Kersten, Frederik Preuß & Dagmar Teten

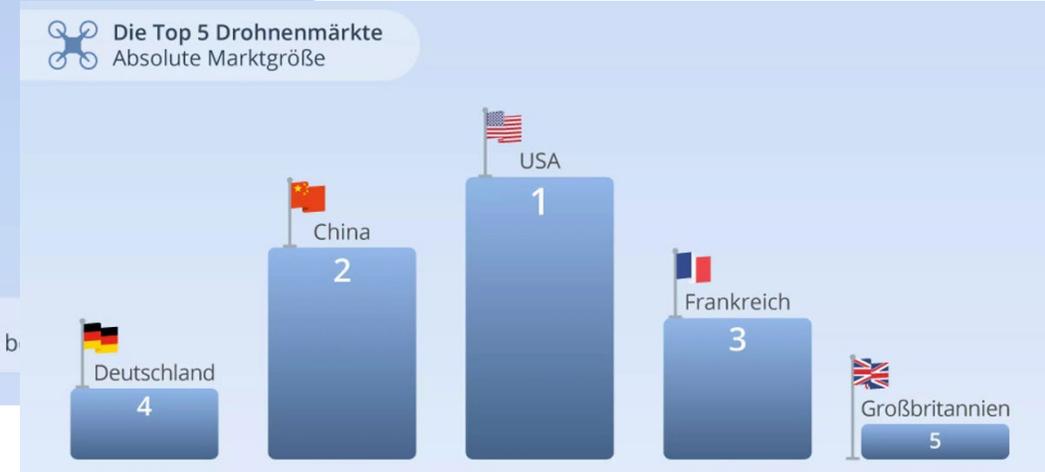
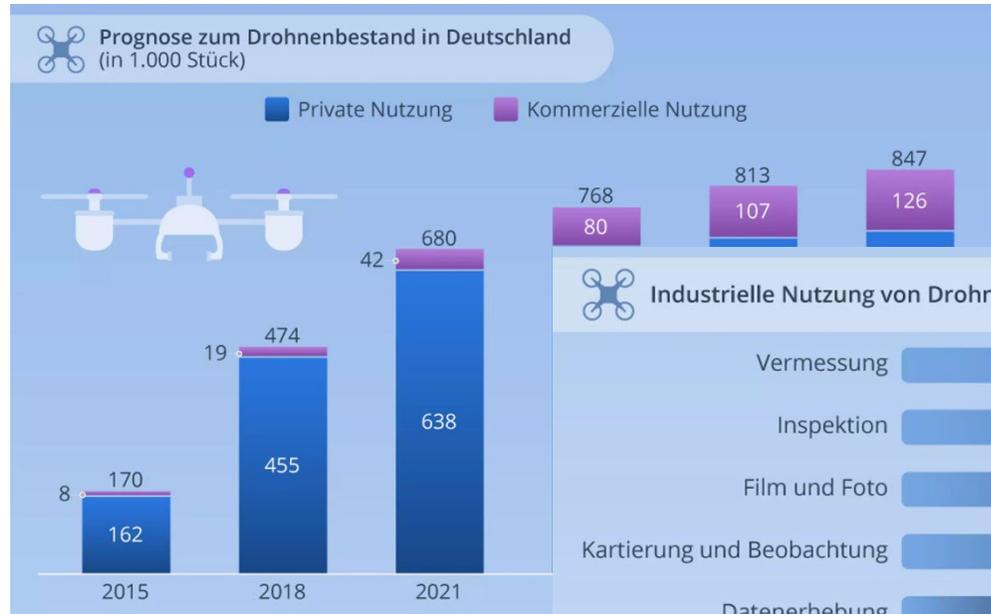
Agenda

- 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



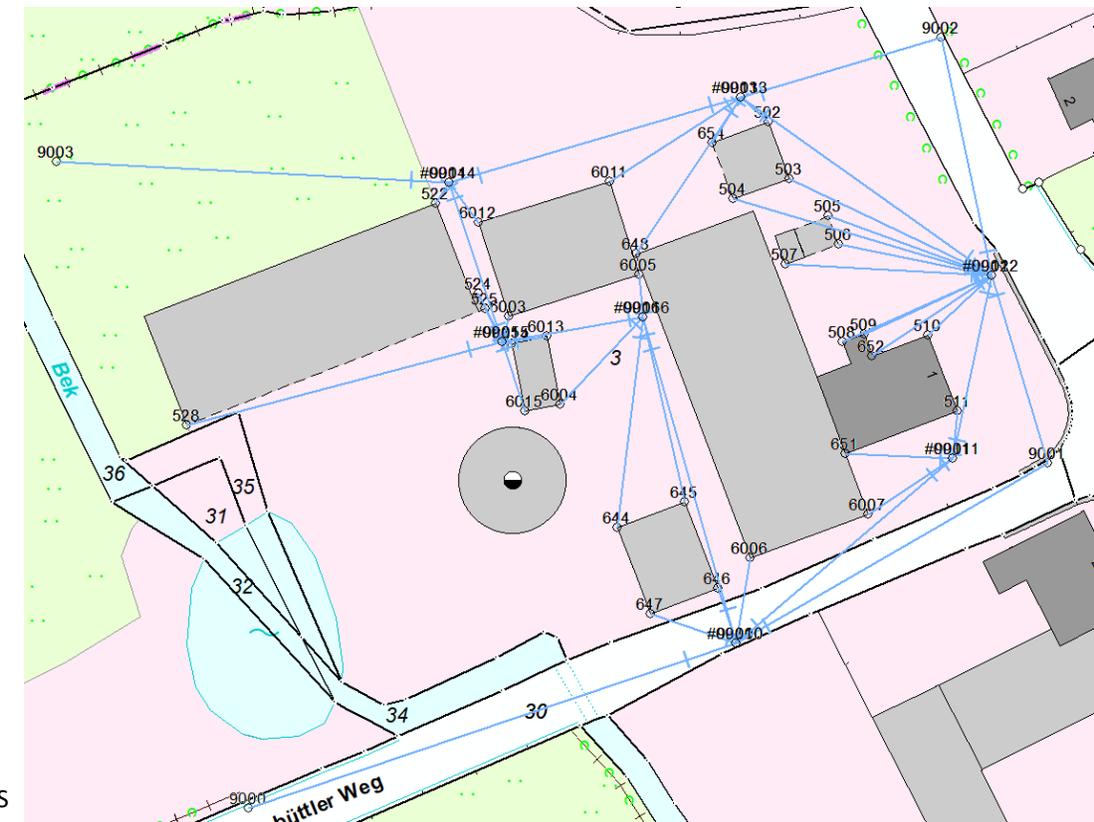
2. Projektvorstellung

- 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

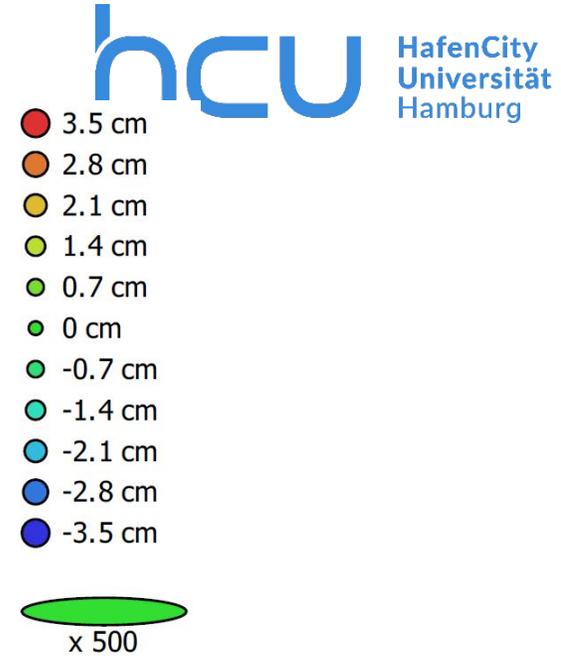
- Instrumentarium – DJI Phantom 4 Pro V2.0 KlauPPK mit proprietärer Kamera Zenmuse X4S (c= 8,8mm, 20 MPixel) und mit Bedieneinheit
- Signalisieren der markierten Passpunkte am 15.11.2022 mit Zielmarken
- Bildflugplanung am iPad vor Ort und Bildflüge mit GNSS-PPK



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



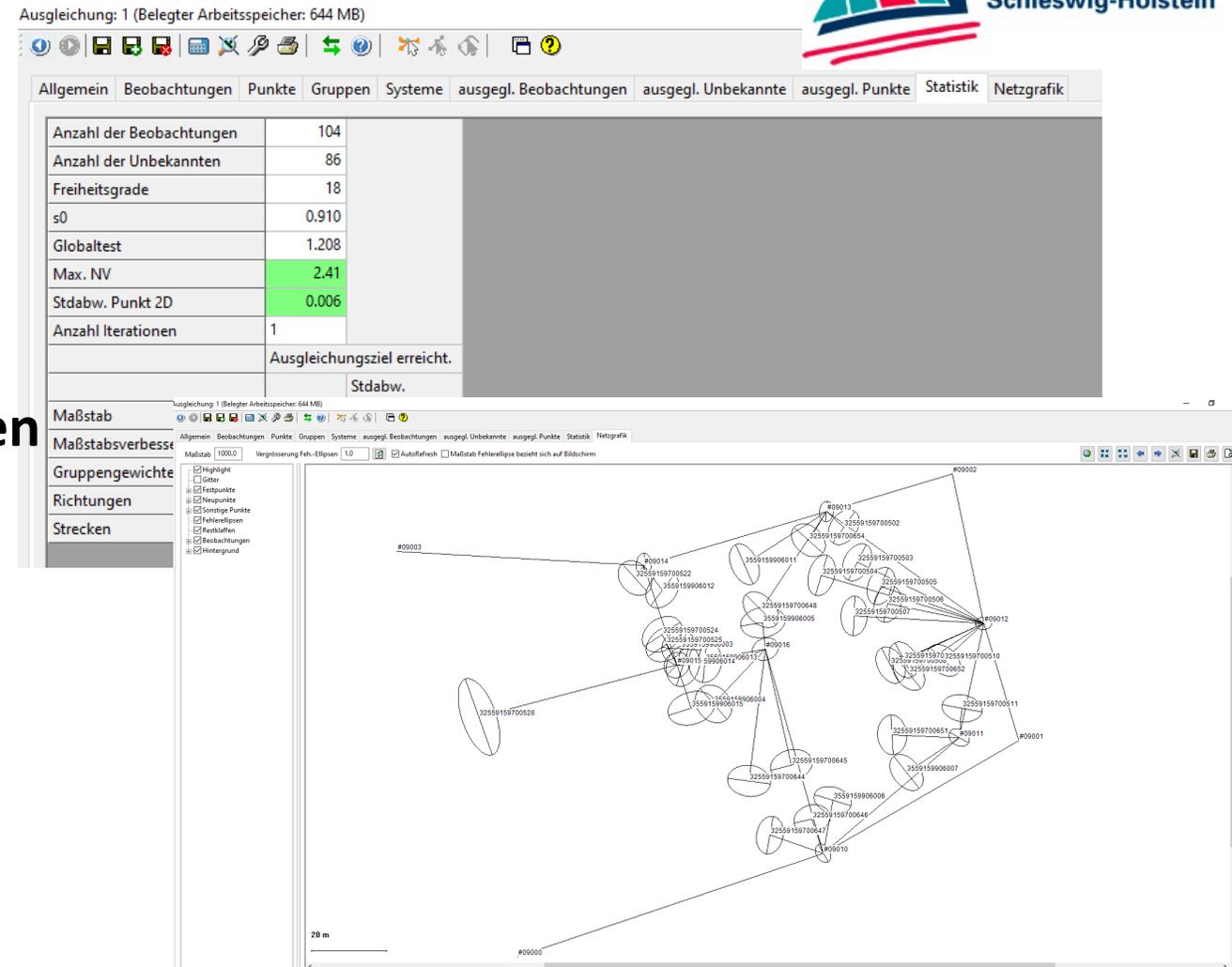
● Control points

⊥ Check points

50 m

5. Auswertung & Ergebnisse

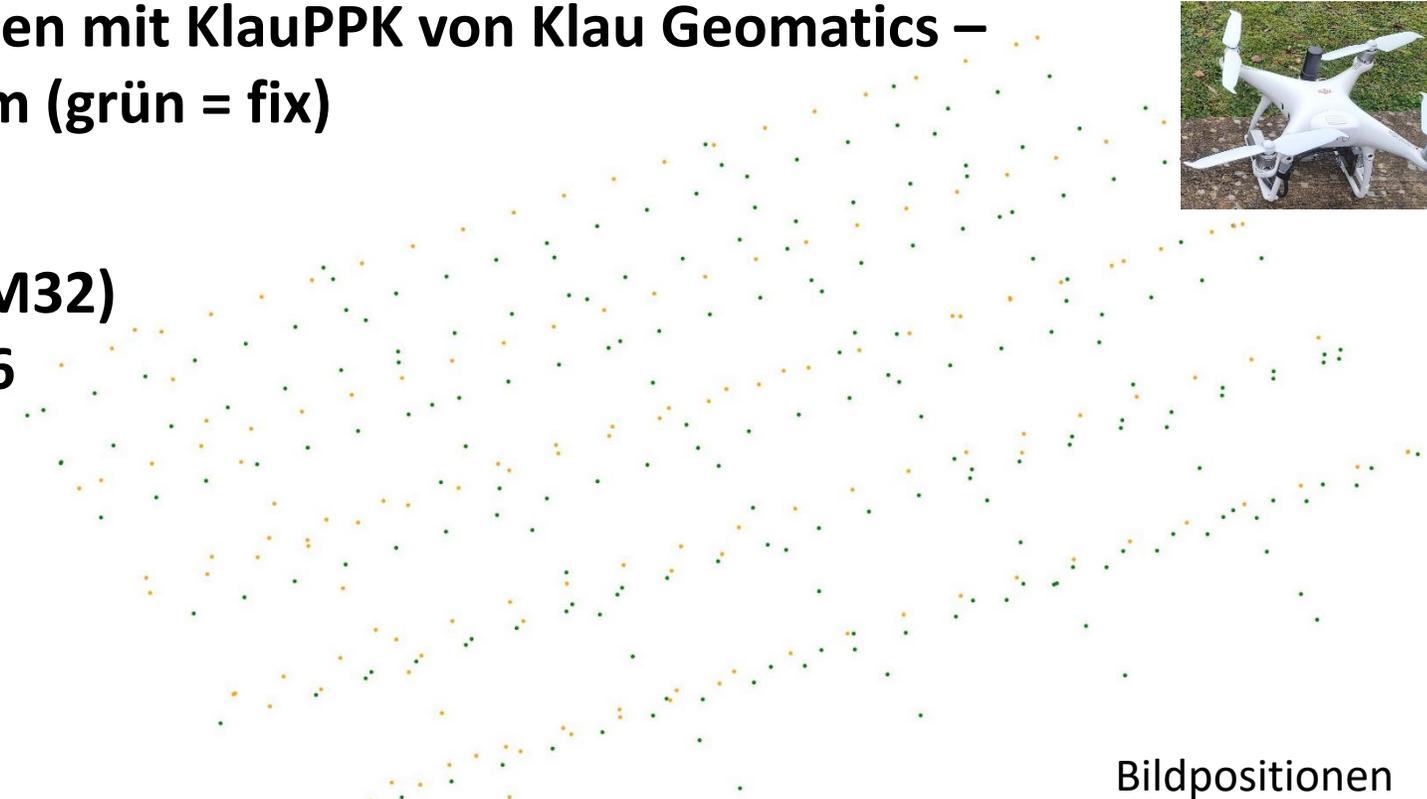
- Auswertung der amtlichen Gebäudeeinmessung mit Tachymeter
- Import der Messdaten und Ausgleichung im 3A-Editor
- Die Standardabweichung der 2D-Punkte $\sigma_{XY} = 6 \text{ mm}$
- Bestimmung der Gebäudekoordinaten
- Aktualisierung der Datenbestände





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**



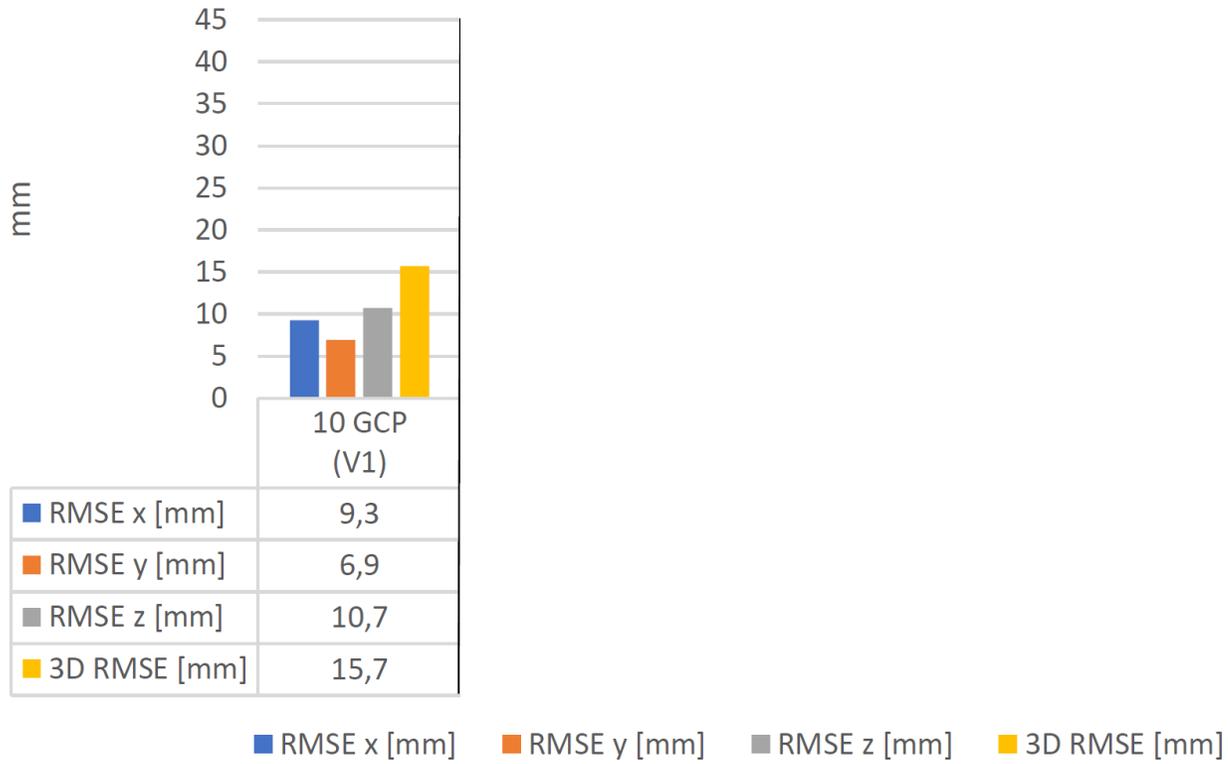
Bildpositionen



5. Auswertung & Ergebnisse

Ergebnisse der Bündelblockausgleichung mit verschiedenen Konfigurationen

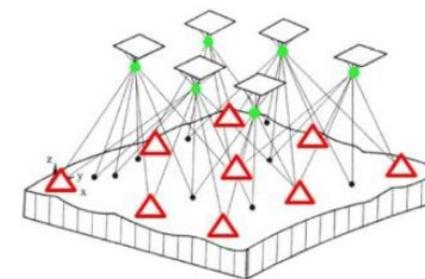
Passpunktkonfigurationen mit KlauPPK



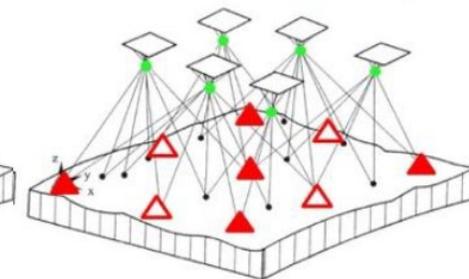
GCP: Ground control points (Passpunkte), CP: Check points (Kontrollpunkte)



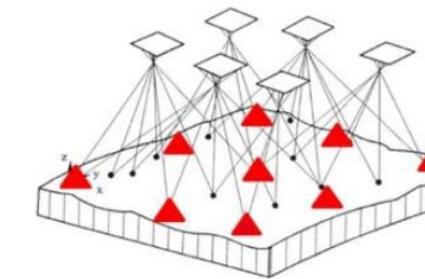
▲ GCP ▲ Check point ● EOR (RTK-GNSS)



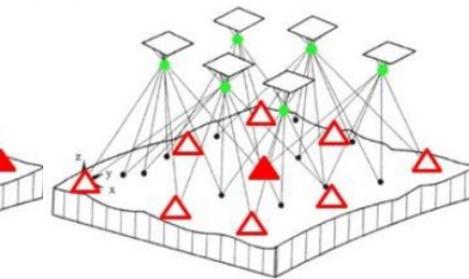
Direct Orientation (RTK)



Integrated Orientation (RTK/5 GCP)



Indirect Orientation (all GCP)



Integrated Orientation (RTK/1 GCP)

5. Auswertung & Ergebnisse

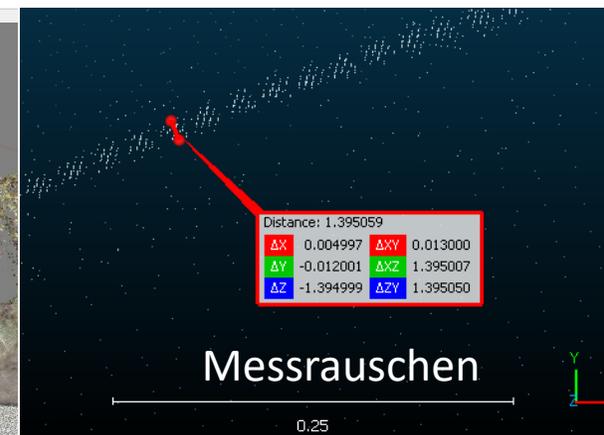
- Generierung einer dichten farbigen Punktwolke (110 Mio. Punkte) aus den Bilddaten (Variante KlauPPK + 1 GCP)
- Photogrammetrische Bestimmung der Gebäudekoordinaten
- Bedingungen:
 - Die zulässige Abweichung $[d] < 5 \text{ cm}$ darf nicht überschritten werden (Nachweis der Identität bei Mehrfachbestimmung)
 - 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

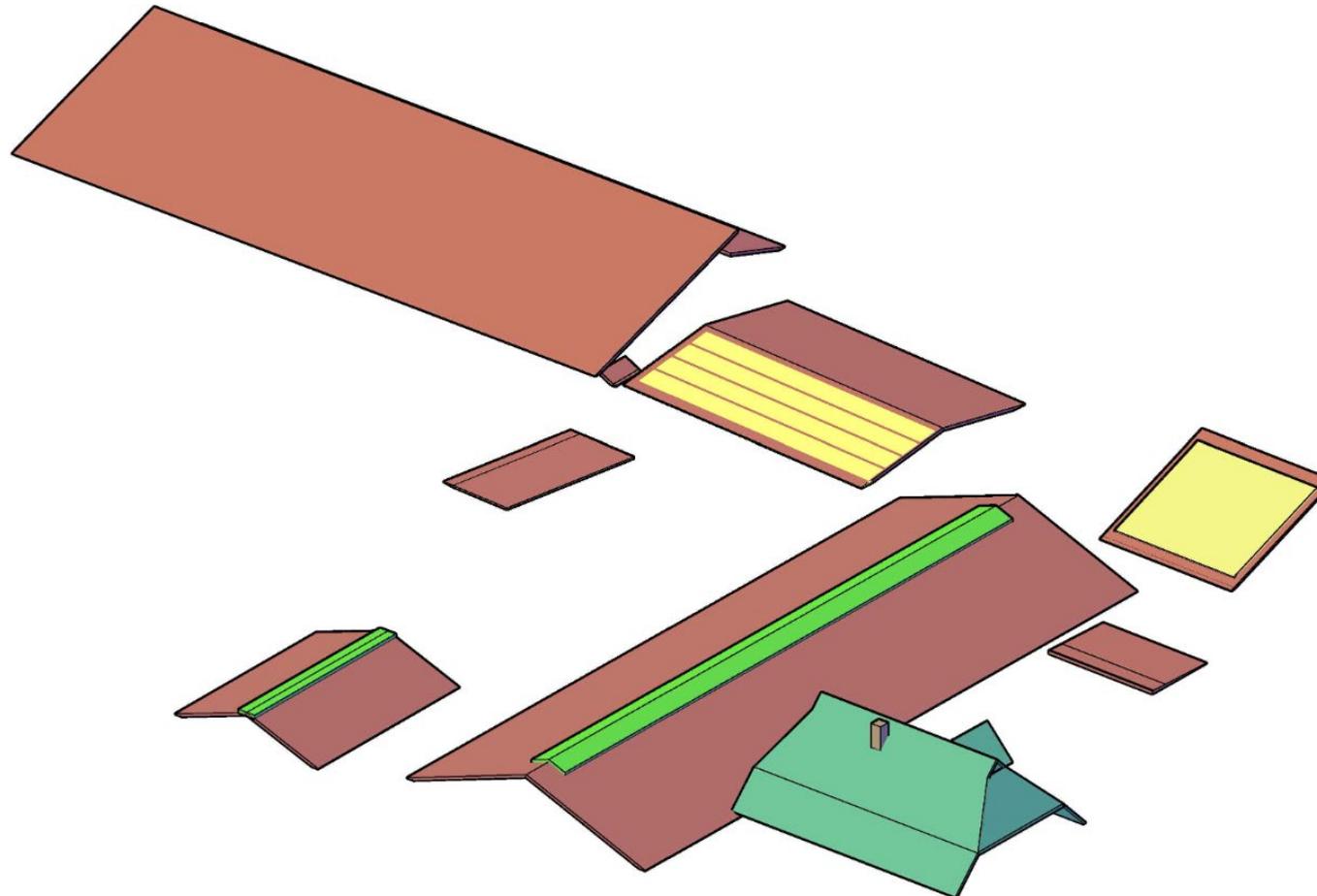
- Gebäudekoordinaten durch direkte Messung in der dichten Punktwolke
- Rauschen der Punktwolke lag meistens bei ca. 1-2 cm
- Drei Messungen je Gebäudeeckpunkt in der Punktwolke
→ Mittelung der Koordinaten
- 84 % der gemessenen Gebäudeeckpunkte lagen innerhalb der zulässigen Abweichung (bestes Ergebnis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





5. Auswertung & Ergebnisse

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

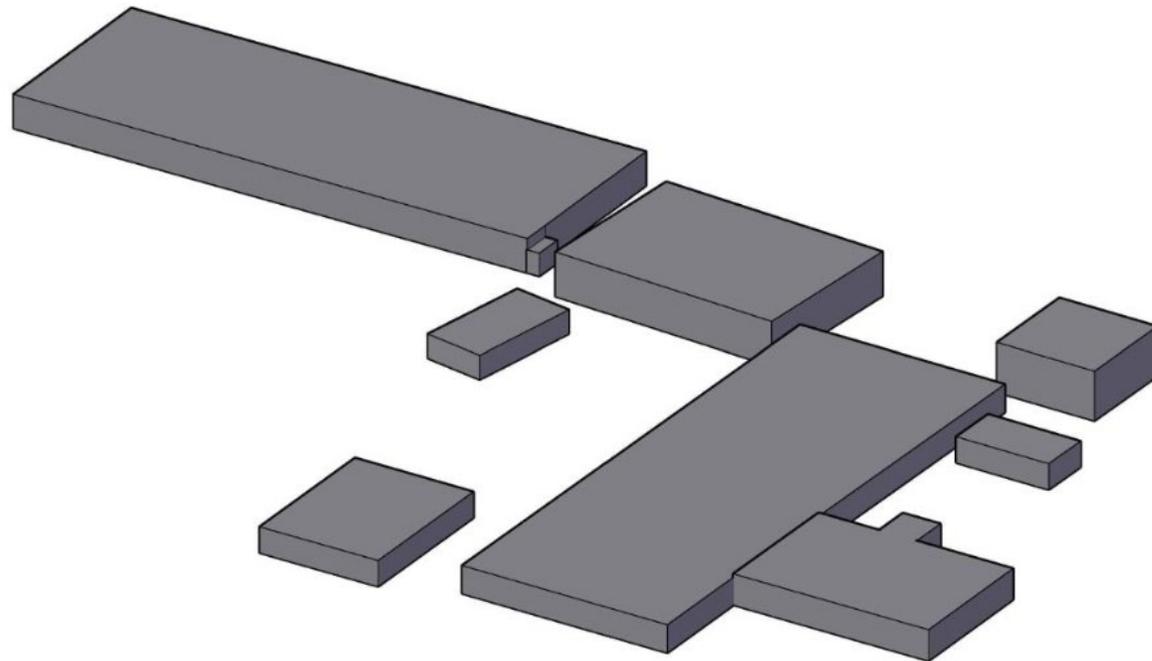




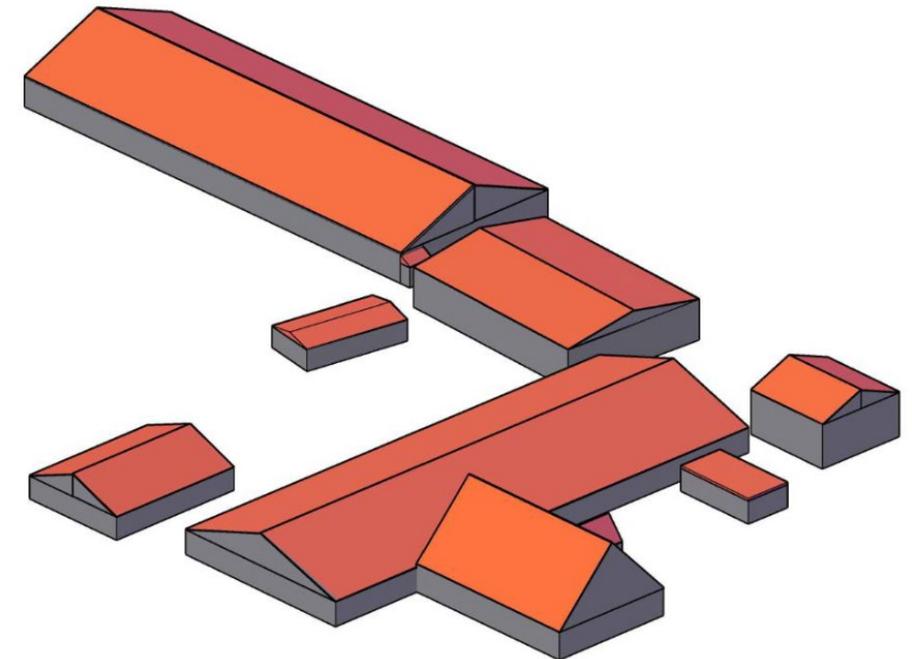
5. Auswertung & Ergebnisse

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

LoD1 = Block- oder Klötzchenmodell

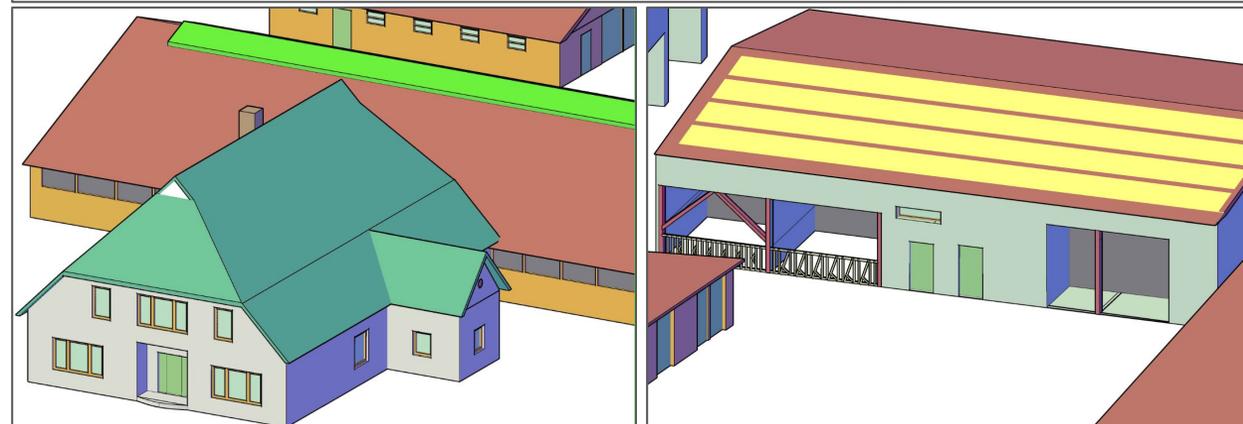
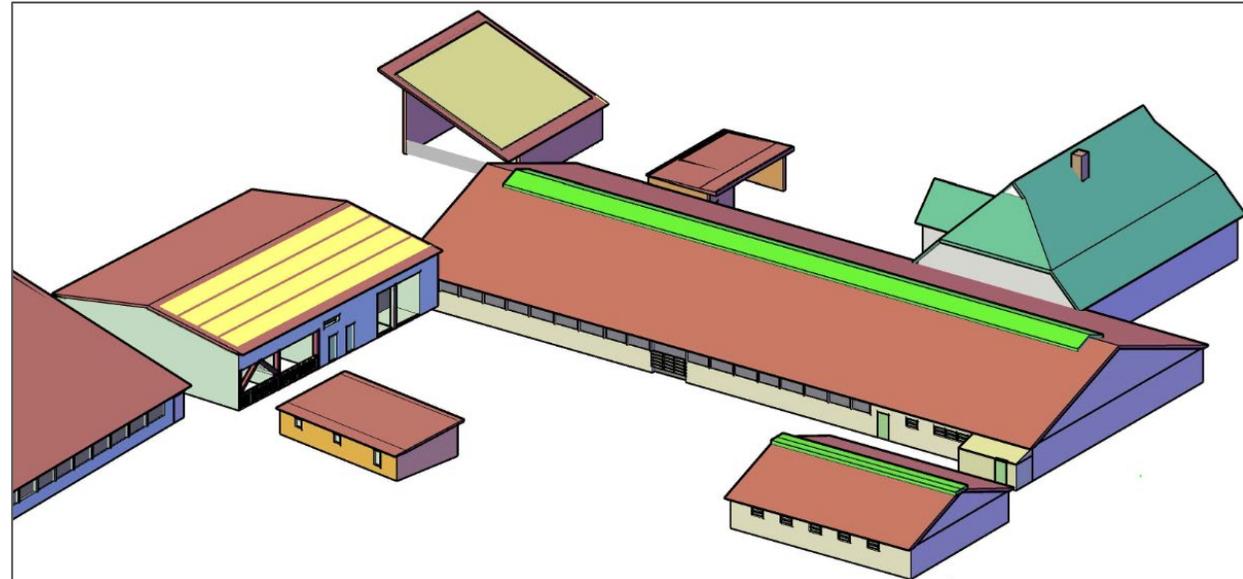
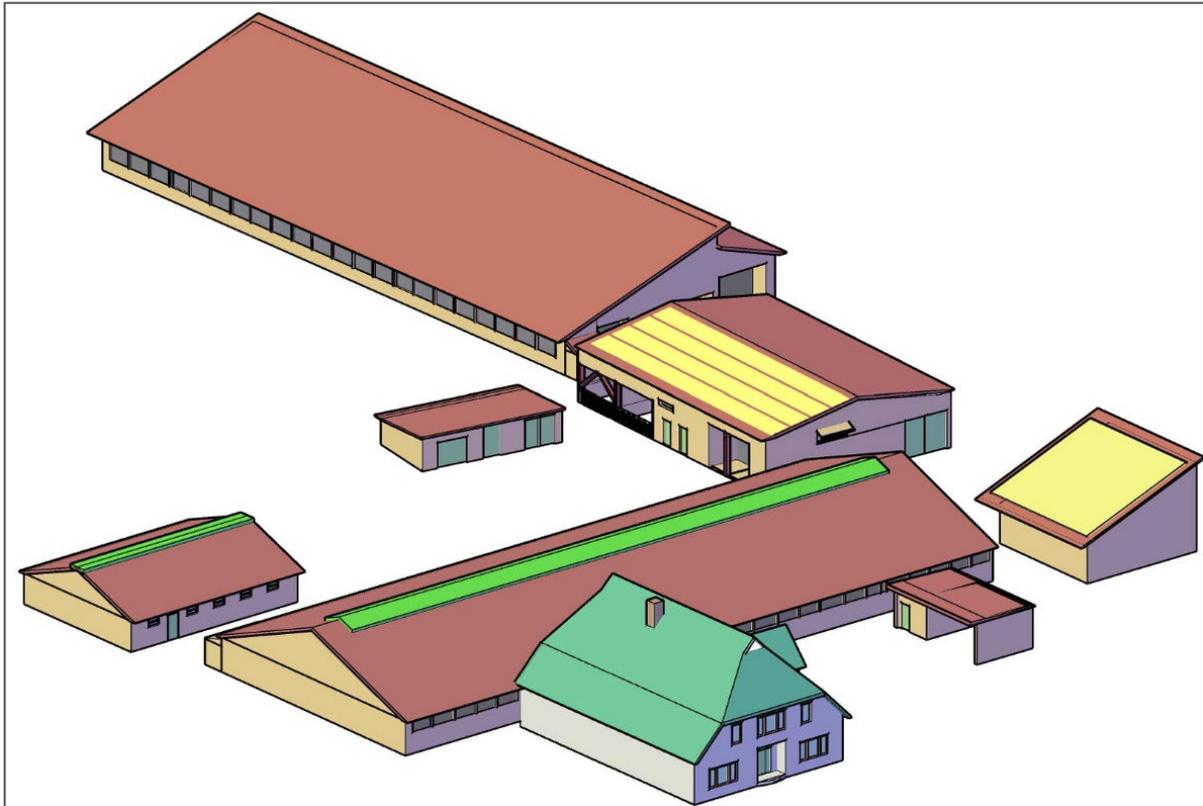


LoD2 = Gebäude mit Standarddachformen



5. Auswertung & Ergebnisse

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





5. Auswertung & Ergebnisse

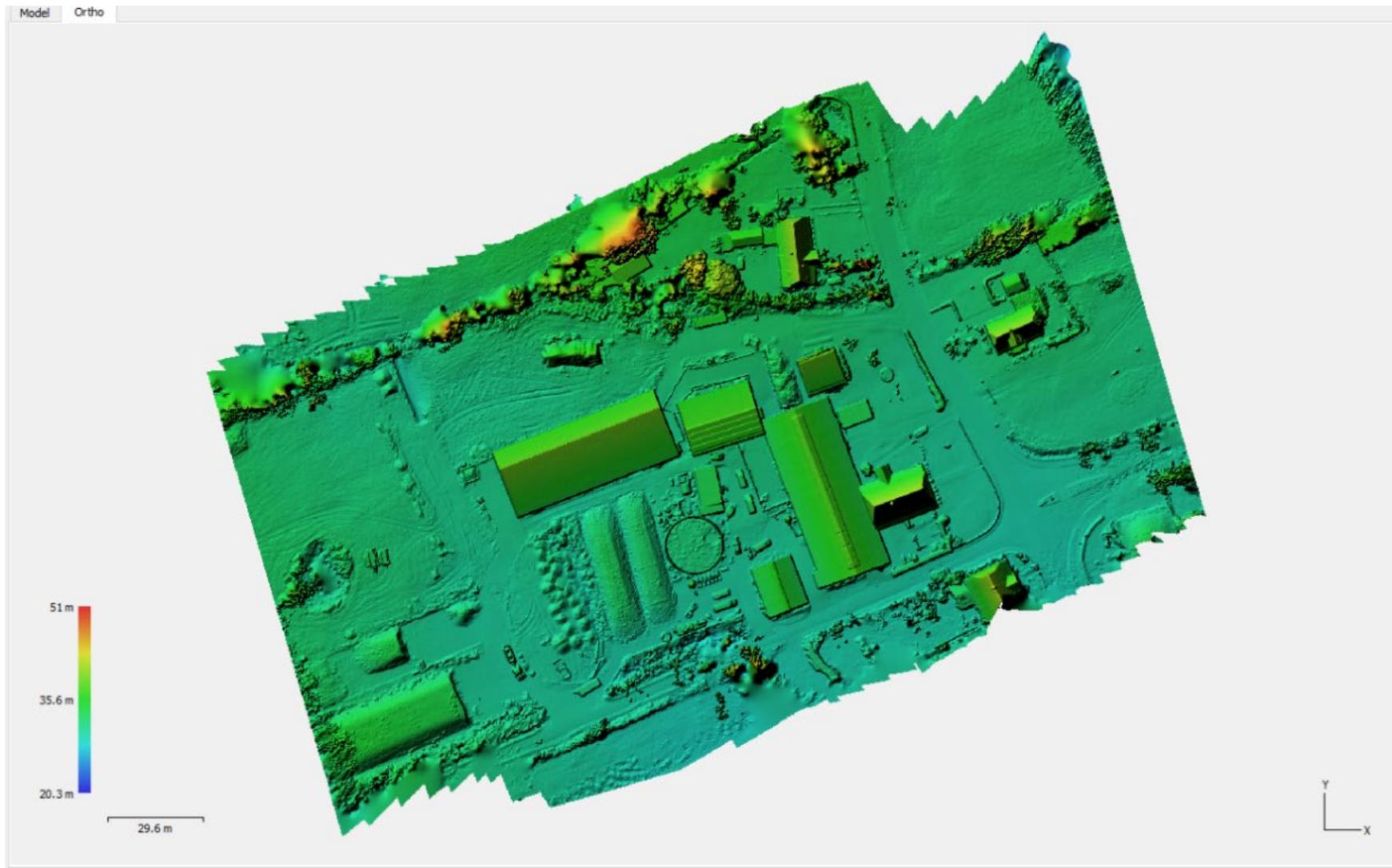
■ Weitere Produkte (Mehrwert) – Digitales Orthophoto (GSD 1,1 cm)





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

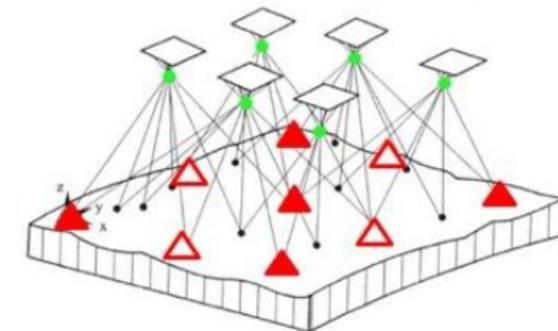
GNSS-Passpunktmessungen und Bildflug = ca. 1 Stunde
Photogrammetrische Punktbestimmung = ca. 11 Stunden
→ 12h total

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