
GEOBLY – Genaue Bestandsvermessung mit Schrägbild-Messsystemen

Klaus LEGAT¹, Kjersti MOE²

¹ Vermessung AVT-ZT-GmbH, Imst · k.legat@avt.at

² Terra Messflug GmbH, Imst

Zusammenfassung

Aerophotogrammetrische Schrägbildmesssysteme bieten völlig neue Einblicke. Neben Anwendungen in der 3D-Stadtmodellierung und Visualisierung erlauben diese Systeme auch hochgenaue Bestandsvermessungen in Bereichen, die bisher für die Aerophotogrammetrie nicht „einsichtig“ waren.

Vermessung AVT und Terra Messflug befassen sich seit einigen Jahren mit dieser Thematik. Seit 2015 bieten wir eigene photogrammetrische Befliegungen anhand einer UltraCam Osprey an. Gemeinsam mit der Fondazione Bruno Kessler (FBK) haben wir 2015/16 ein vom Land Tirol im Rahmen der Innovationsförderung unterstütztes Projekt („GEOBLY“) durchgeführt. Zu den Zielen gehört die Optimierung der Aerotriangulation für Mehrkopf-Kamerasysteme sowie die Entwicklung eines eigenständigen Werkzeugs zur Durchführung hochgenauer Vermessungen anhand der Schräg- und Nadirbilder. Die Ergebnisse dieses Projekts werden anhand beispielhafter UltraCam-Osprey-Befliegung in Tirol vorgestellt und das Genauigkeitspotenzial des Verfahrens wird beschrieben.

1 Einleitung

1.1 Hintergründe

In den letzten Jahren hat sich die Schrägbild-Photogrammetrie zu einer marktreifen Technologie für die Gewinnung von 3D-Daten entwickelt (REMONDINO & GERKE, 2015). Die häufigste Anwendung finden Oblique-Kameras bisher in der Visualisierung von Dachlandschaften und Gebäudefassaden in 360°-Perspektiven (GERKE & KERLE, 2011), in der Texturierung von 3D-Stadtmodellen (JURISCH & MOUNTAIN, 2008), sowie für einfache Distanzmessungen anhand von Monoplotting, wobei hierfür ein bestehendes digitales Geländemodell (DGM) erforderlich ist. Kartographie und Bestandsaufnahme sind dagegen bisher nur Randthemen.

Mittlerweile hat sich die Sensortechnik entscheidend weiterentwickelt. Durch den Einstieg neuer Herstellerfirmen hat sich das Angebot an Oblique-Luftbildkameras deutlich vergrößert und der so entstandene Wettbewerb führt zu einer stetigen Verbesserung der Kamerasysteme. Die meisten aktuellen Systeme bestehen aus einem Nadir-Kamerakopf und vier um 30° bis 50° zur Nadirrichtung geneigten Schrägbild-Köpfen, die nach vorne, hinten, links und rechts ausgerichtet sind („Malteserkreuz“). Für die Oblique-Kameras kommen üblicherweise RGB-Sensoren mit Bayer-Filter zum Einsatz, in Nadirrichtung sind zuneh-

mend auch Nah-Infrarot- (NIR-) Aufnahmen möglich (GRUBER, 2015; LEICA, 2016; IGI SYSTEMS, 2016). Parallel zu den Sensoren hat auch eine rasante Weiterentwicklung in den Bereichen Forschung und Softwareentwicklung eingesetzt. Zu den wichtigsten Themen gehören dabei die Bildqualität, die Aufnahmegeometrie, die Genauigkeit der Aerotriangulation und Dense Image Matching (DIM). Hierzu gibt es bereits eine Reihe an wissenschaftlichen Publikationen (JACOBSEN, 2008; GERKE & NYARUHUMA, 2009; WIEDEMANN & MORE, 2012; RUPNIK ET AL., 2013; HAALA & ROTHERMEL, 2015; RUPNIK ET AL., 2015, MOE ET AL., 2016). Allerdings mangelt es bisher meist am Nachweis der Praxistauglichkeit für reale Projekte – und genau hier setzt dieser Beitrag an.

1.2 Detaillierte Bestandsvermessung

Einer der Schwerpunkte der Vermessung AVT ist seit jeher die detaillierte Bestandsvermessung als Grundlage für den digitalen Leitungskataster. Seit unserem Einstieg in die digitale Luftbildaufnahme (Gründung der Tochterfirma Terra Messflug Anfang 2009) verschieb sich die Umsetzung zunehmend in Richtung Aerophotogrammetrie: Anhand eines detaillierten Nadir-Bildflugs (5 cm Bodenauflösung (GSD), 60% Längs- und Quertüberdeckung) können je nach Bebauungscharakter zwischen 30% und 60% der erforderlichen Objekte photogrammetrisch erfasst werden. Es ist naheliegend, dass dieser Anteil bei Verfügbarkeit von Schrägbildern aus unterschiedlichen Perspektiven nochmals deutlich gesteigert werden kann, da wesentlich weniger Objekte in „sichttoten“ Räumen liegen.

Die Vorteile einer „hybriden“ Datenerfassung für unsere Kunden sind u.a.:

- eine deutliche Aufwands- und Kostenersparnis gegenüber der rein terrestrischen Vermessung,
- die Bereitstellung eines hochauflösenden, bedarfsweise auch bildsturzfreien („True“) Orthophotos,
- die weitgehend automatisierte Ableitung von 3D-Visualisierungen,
- die Nutzung der Schrägbild-Daten für nicht vermessungstechnische Fragestellungen (Gebäudezustand, Geschoßanzahl und -höhen, Sichtbarkeitsanalysen, etc.).

Aus diesen Gründen haben wir seit 2015 eine Reihe von Schrägbild-Befliegungen durchgeführt. Gemeinsam mit FBK Trento, Gruppe 3D Optical Metrology unter Leitung von Fabio Remondino (FBK TRENTO, 2016), wurde das Forschungsprojekt „GEOBLY“ ins Leben gerufen, das vom Land Tirol im Rahmen der Innovationsförderung unterstützt wird. Ziele dieses Projekts sind die Optimierung des photogrammetrischen Workflows in den qualitätsbestimmenden Bereichen Flugplanung und Aerotriangulation sowie die Entwicklung eines praxistauglichen Softwaretools für die genaue Messung in den Schrägbildern.

2 Schrägbild-Befliegungen

2.1 Sensorsystem

Bei unseren bisherigen Befliegungen haben wir meistens eine UltraCam Osprey Mark 2 (vormals Osprey Prime) von Vexcel Imaging eingesetzt. Die Charakteristika in Nadir-Richtung (vier Objektive) sind:

- Panchromatische Bildaufnahme mit zwei Objektiven, Brennweite 80 mm

- Bildformat (nach Stitching) 11.674 Pixel quer zur Flugrichtung, 7.514 Pixel längs
- Öffnungswinkel 47,3° quer, 31,5° längs
- RGB-Aufnahme mittels Bayer-Filter, Brennweite 40 mm, Pan-Sharpning 2:1
- NIR-Aufnahme, Brennweite 40 mm, Pan-Sharpning 2:1

Die Charakteristika der Schrägbild-Sensoren (vorwärts, rückwärts, links, rechts) sind:

- RGB-Aufnahme mittels Bayer-Filter, Brennweite 120 mm
- Bildformat 8.900 Pixel quer zur Flugrichtung, 6.650 Pixel längs
- Öffnungswinkel 25,1° quer, 18,9° längs
- Neigungswinkel zum Nadir jeweils 45° (effektiv)

Die physikalische Pixelgröße für sämtliche Sensoren (CCD) beträgt 6 μm , die Analog-Digitalwandlung erfolgt mit einer radiometrischen Auflösung von > 12 Bit. Durch die Schrägstellung vergrößert sich die Objektdistanz in den Oblique-Bildern gegenüber der Flughöhe um ca. 40%. Die unterschiedlichen Brennweiten in Nadir- und Oblique-Richtung wurden so gewählt, dass (bei ebenem Gelände) eine vergleichbare GSD in allen Bildern erzielt wird. Die Sensoren sind in einem gemeinsamen Sensorkopf stabil zueinander angeordnet (Abb. 1), sodass von konstanten relativen Orientierungen (Blickwinkel und räumliche Abstände zwischen den Projektionszentren) ausgegangen werden kann. Dieser Umstand ist für genaue photogrammetrische Auswertungen von entscheidender Bedeutung.

Die Kamera wird in einer kreiselstabilisierten Aufhängung gelagert. Während des Flugs werden GPS/IMU-Daten für die direkte Georeferenzierung aufgezeichnet (IGI AeroControl mit IMU II-d, 256 Hz, Kreisdrift < 0,1°/h; GPS-Empfänger NovAtel OEM V-3).



Abb. 1: UltraCam Osprey Mark 2 Sensorkopf von unten (links), Kamerasystem und Kreiselstabilisierung innerhalb des Flugzeugs (rechts).

2.2 Flugplanung

Bei der Flugplanung muss je nach Topographie und Bebauung besonderes Augenmerk auf die GSD in den Nadir- und Oblique-Bildern, die Bildabdeckung und die Längs- und Querüberdeckung gelegt werden (RUPNIK ET AL., 2015). Das Ziel dabei ist die Minimierung von „sichttoten“ Bereichen und die vollständige Erfassung des gesamten Interessensgebiets in allen fünf Blickrichtungen. Um dies zu erreichen, muss der Flugplan gegenüber einer rei-

nen Nadir-Befliegung für dasselbe Gebiet rundum erweitert werden. Im Fall einer Nord-Südbefliegung und bei 45° Neigung der Schrägbilder zur Nadirrichtung gilt:

- Um den südlichen bzw. nördlichen Gebietsrand vollständig mit nordwärts bzw. südwärts gerichteten Schrägbildern abzudecken, müssen die Streifen etwa um die 1,5-fache Flughöhe über Grund nach Norden und Süden verlängert werden.
- Um den westlichen bzw. östlichen Gebietsrand vollständig mit ostwärts bzw. westwärts gerichteten Schrägbildern abzudecken, müssen die äußersten Streifen etwa um die 1,5-fache Flughöhe über Grund weiter außen platziert werden.

Im Fall von signifikanten Höhenunterschieden im Gebiet nimmt die Komplexität der Flugplanung deutlich zu. Korrekte Ergebnisse können grundsätzlich nur unter Einbindung eines DGM und durch detaillierte Analyse der mittels DGM-Verschnitt bestimmten Einzelbildabdeckung (Footprints) erzielt werden.

Als Beispiel wird dient ein Bildflug in Imst (Hauptsitz der AVT): Das Interessensgebiet hat eine ungefähre Ausdehnung von 4,5 km (Nord-Süd) mal 1,5 km (West-Ost). Die Geländehöhe variiert ca. zwischen 700 m und 1.000 m; die gewünschte (mittlere) Bodenauflösung beträgt 6 cm, die gewünschte Längs- und Querüberdeckung (Nadir) beträgt 75% bzw. 60%. Die Planung ergab fünf Flugstreifen mit 156 Bildern je Blickrichtung (Abb. 2). Die Befliegung erfolgte am 01.10.2015 zum Sonnenhöchststand, die mittlere Flughöhe über Grund betrug 800 m. Eine 3D-Visualisierung des Bildflugs ist bei MELOWN (2016) zu finden.

3 Aerotriangulation

Die Aerotriangulation (AT) von Schrägbildflügen wird in photogrammetrischen Softwarepaketen bislang meist in zwei Stufen durchgeführt:

1. In der ersten Stufe werden die äußeren Orientierungen der Nadirbilder bestimmt und diese anhand der – zumindest näherungsweise aus einer Kalibrierung bekannten – relativen Orientierungen auf die Schrägbilder übertragen.
2. Danach folgt die vollständige AT für alle fünf Teilkameras. Dabei ist auch zu beachten, dass nur zwischen ähnlichen Blickrichtungen Bildverknüpfen mittels automatischem Matching identifiziert werden können (GERKE ET AL., 2016).

Im Idealfall wird bei der Gesamt-AT die Stabilität der relativen Orientierungen berücksichtigt, d.h. es werden nicht für jeden Auslösepunkt die äußeren Orientierungen aller fünf Bilder unabhängig geschätzt, sondern nur deren Unterschiede zum Nadirbild; die Parameter der relativen Orientierungen der Schrägbild-Kameras können im Vergleich zu den Startwerten aus einer Kalibrierung geschätzt werden. Auf diese Weise wird die Überbestimmung der Ausgleichung deutlich gesteigert: einer Anzahl von $5 \times 6 \times n$ Unbekannten bei der unabhängigen Bestimmung aller äußeren Orientierungen stehen $6 \times (n + 4)$ Unbekannte gegenüber ($n = \text{Nadirbildanzahl}$). Ein weiterer Vorteil ist die wesentlich höhere Orientierungsgenauigkeit für die Schrägbilder am Blockrand. Leider lässt sich die Stabilität der Kameraanordnung bei den meisten AT-Softwarepaketen (noch) nicht vollständig abbilden.

Für das Projekt in Imst wurde die AT mit drei verschiedenen Programmen durchgeführt: Match-AT (TRIMBLE, 2016), UltraMap-AT (GRUBER, 2015) und Pix4D (PIX4D, 2016). Die a-priori-Standardabweichungen wurden wie folgt definiert: für die Passpunkte 5 cm in der

Lage und 7 cm in der Höhe; für die GPS/INS-Daten 10 cm in der Lage, 15 cm in der Höhe sowie $0,002^\circ$ für Omega und Phi bzw. $0,005^\circ$ für Kappa. Für die automatischen Bildverknüpfen und für die manuellen gemessenen Punkte wurden 0,5 Pixel angesetzt. Es wurden sechs Passpunkte sowie 14 Kontrollpunkte zur Qualitätssicherung mittels APOS-RTK erfasst, wobei sich acht Kontrollpunkte in unabhängiger Lage befinden (Abb. 2).

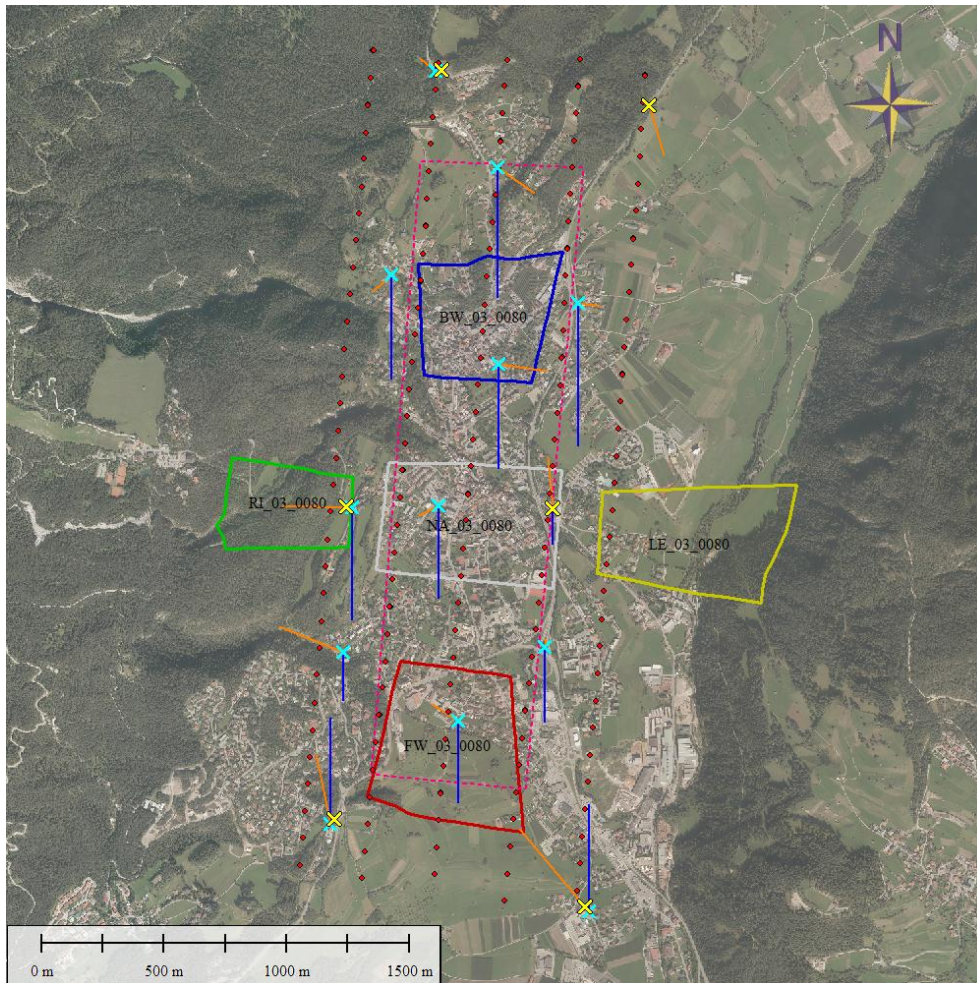


Abb. 2: Beispiel Imst: Flugplanung mit Gebietsabgrenzung (rosa), beispielhaften Footprints aus DGM-Verschnitt (Streifen 3, Bild 80, Flugrichtung Süden), Passpunkten (gelbe Kreuze), Kontrollpunkten (türkise Kreuze) und Kontrollpunkt-Residuen mit relativer Vergrößerung von 5.000:1 (orange = horizontal, blau = vertikal).

In den Tests wurden die Brennweiten und Bildhauptpunkte der Kameras mittels Selbstkalibrierung geschätzt. Die Ergebnisse der AT mit bzw. ohne Berücksichtigung der Schrägbilder wurden miteinander verglichen. Trotz des unterschiedlichen Konzepts haben alle drei

Softwarepakete relativ ähnliche Resultate ergeben. Wie Tabelle 1 zeigt, nimmt die Genauigkeit von der direkten Georeferenzierung (GPS/INS) über die AT nur mit den Nadirbildern zur AT mit den Schräg- und Nadirbildern jeweils deutlich zu. Wie schon in früheren Arbeiten gezeigt wurde (RUPNIK ET AL., 2015), tritt die größte Verbesserung bei der Nutzung der Oblique-Bilder in der Höhe ein, was vor allem auf die verbesserte Schnittgeometrie der Sichtstrahlen zurückzuführen ist (siehe dazu auch Abschnitt 4.3).

Tabelle 1: Genauigkeitsvergleich für die Kontrollpunkte (aus MOE ET AL., 2016)

Variante	Bilder	Stdabw. X [m]	Stdabw. Y [m]	Stdabw. Z [m]
GPS/INS	nur Nadir	0.216	0.200	0.400
GPS/INS	Nadir + Schräg	0.230	0.212	0.227
AT	nur Nadir	0.044	0.028	0.089
AT	Nadir + Schräg	0.035	0.027	0.058

4 Bestandsvermessung

4.1 Verbaungsstruktur und Effizienzsteigerung

Wie bereits erwähnt liegt das Hauptziel der Vermessung AVT bei der Nutzung der Schrägbildkamera in der Effizienzsteigerung von Bestandsvermessungen z. B. im Rahmen von Wasserleitungskataster-Projekten durch Verlagerung der Vorort-Arbeiten in die (Schrägbild-) Photogrammetrie. Durch die zusätzlichen Perspektiven sind Objekte, die in den Nadirbildern gänzlich oder teilweise verdeckt sind, deutlich besser einsehbar und damit auch messbar. Dies betrifft beispielsweise Fassaden, Gebäudumringe (in Sockelhöhe), Straßenränder, Mauern, Schächte oder Dächer von niedrigeren Gebäudeteilen, die von höheren Strukturen überragt werden.

Der Grad der möglichen Effizienzsteigerung hängt sehr stark vom Verbaungscharakter im Interessensgebiet zusammen. Während relativ einfache Gebiete nahezu vollständig aus den Bilddaten ausgewertet werden können, gibt es auch komplex strukturierte und/oder enge verbaute Gebiete, in denen die Verbesserung gegenüber einem reinen Nadirflug den Mehraufwand für die aufwändigere Befliegung (aufgrund des kleineren Nadir-Footprints der Oblique- gegenüber den Nadir-Kameras) nicht oder nur bedingt rechtfertigt. Ein Beispiel aus Tirol ist hier die Gemeinde Serfaus, in der es eine Vielzahl von Hotels und sonstigen Gastbetrieben gibt, bei denen sehr häufig An- und Umbauten erfolgen. Hier lag die Effizienzsteigerung gegenüber der Nadir-Befliegung nur im Bereich von etwa 10 bis 20%. In Gemeinden mit einfacherer Verbaung wie etwa Mötz im Tiroler Oberland konnte der Außendienst dagegen um 60 bis 70% reduziert werden.

4.2 Auswertetool GEOBLY

Bei unserem Einstieg in die Oblique-Technik haben wir eingehend nach bestehenden Softwarepaketen für unsere Zielsetzung recherchiert. Dabei hat sich herausgestellt, dass der von uns verfolgte Ansatz der Detailauswertung aus den Schrägbildern bisher noch kaum in der Praxis anzutreffen ist. Aus diesem Grund haben wir uns dazu entschlossen, eine Innovationsförderung beim Land Tirol zu beantragen und gemeinsam mit unserem Partner FBK

Trento eine Eigenentwicklung zu starten. Das Ergebnis ist das Auswertetool GEOBLY. Dieses Werkzeug bietet u.a. folgende Funktionen zur **Visualisierung** (Abb. 3):

- Gemeinsame Visualisierung eines Objekts aus allen fünf Blickrichtungen, wobei in jedem Teilfenster die Orientierung des Bilds für eine möglichst komfortable Betrachtung bzw. Messung angepasst werden kann.
- Überlagerung der Bilddaten in allen Teilfenstern mit bestehenden CAD-Dateien.
- Zusätzliche Visualisierung eines Orthophotos oder eines Kartenausschnitts (vor allem für die Groborientierung im Messgebiet).

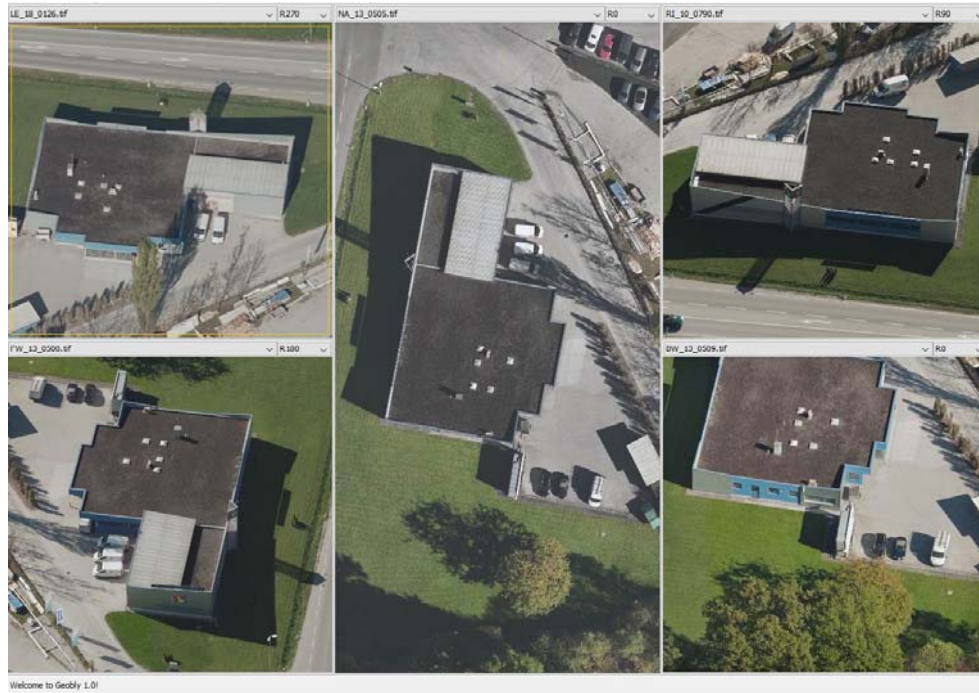


Abb. 3: Hauptbildschirm von GEOBLY zur Visualisierung von Objekten in Bildern aus unterschiedlichen Blickrichtungen.

Zum **Messen** in den Schräg- und Nadirbildern stehen folgende Methoden zur Verfügung, die nach zunehmendem Genauigkeitspotenzial aufgelistet sind:

1. Monoplotting mittels 2,5D-Modell: Messung eines Objekts in einem Bild und Verschnitt des Blickstrahls mit einem digitalen Gelände- oder Oberflächenmodell (DGM bzw. DOM).
2. Monoplotting mittels 3D-Mesh: Messung eines Objekts in einem Bild und Verschnitt mit einem 3D-vermaschten Vektormodell, das zuvor aus einer mittels Dense Image Matching (DIM) aus den Nadir- und Schrägbildern abgeleiteten 3D-Punktwolke gewonnen wurde. Für die Ableitung der Punktwolke und das 3D-Meshing verwenden wir die Software SURE Aerial (nFRAMES, 2016).

3. „Multiplotting“: Messung eines Objekts in zwei oder mehr Bildern und Ausgleichung des räumlichen Vorwärtsschnitts aller beteiligten Messstrahlen. Dies ist die genaueste Messmethode. Bereits im Zuge des Messvorgangs zeigt GEOBLY die Streuung an, die im Zuge der Ausgleichung für die Punktbestimmung ermittelt wird.

4.3 Erreichbare Auswertegenauigkeit

Zur Analyse der bestmöglichen Auswertegenauigkeit wird nur die genaueste der oben genannten Methoden betrachtet (Multiplotting). Im Wesentlichen hängt die Genauigkeit eines Objektpunkts von folgenden Einflüssen ab:

1. **Qualität der AT:** Wie bereits in Abschnitt 3 anhand von Kontrollpunkten gezeigt wurde, führt die Hinzunahme der Oblique-Bilder zu einer Genauigkeitsverbesserung der AT vor allem für die Höhenmessung; die Lagegenauigkeit ändert sich dagegen nur geringfügig.
2. **Messgenauigkeit im Bild:** Ein erfahrener Operateur kann ein eindeutig definiertes Objekt mit einer Genauigkeit von 0,5 Pixel oder besser messen. Typische Beispiele für eindeutige Objekte sind kreis- oder ellipsenförmige Objekte (z.B. Schachtdeckel oder Wasserschieber) oder Eckpunkte (z. B. Bodenmarkierungen, Fensterstürze oder Dachecken).
3. **Schnittgeometrie der Sichtstrahlen:** Grundsätzlich gilt, dass die Qualität des Schnitts zweier Strahlen umso besser wird, je stärker sich der Schnittwinkel einem rechten Winkel annähert (entsprechend der Komplanaritätsbedingung liegen die beiden Aufnahmepositionen und der Objektpunkt immer in einer gemeinsamen Ebene).

Bei der Nadir-Photogrammetrie wird der Schnittwinkel vom Basis-Höhen-Verhältnis bestimmt. Je größer die Bildbasis (also der Abstand zwischen den Aufnahmepunkten eines Stereomodells) ist, desto besser ist die Geometrie. Bei aktuellen digitalen Messkameras liegt das Basis-Höhen-Verhältnis bei einer Vorwärtsüberdeckung von 60% bei einem Wert von etwa 3 bis 4, wodurch ein typischer Schnittwinkel von 20° bis 15° entsteht, der innerhalb des Stereomodells weitgehend konstant ist. Aufgrund dieses relativ kleinen Winkels ist die Höhengengenauigkeit im Nadirfall schlechter als die Lagegenauigkeit, der dominante Fehleranteil liegt in Richtung der Winkelsymmetrale.

Bei den Oblique-Bildern kann der Winkel einer wesentlich größeren Schwankung unterliegen, da sehr unterschiedliche Bilder (Blickwinkel) zur Bestimmung eines Objektpunkts herangezogen werden können. Im Extremfall könnten etwa die Sichtstrahlen eines nach Westen blickenden Bildes in einem Flugstreifen und eines nach Osten blickenden Bildes in einem anderen Streifen kombiniert werden, wodurch eine ähnliche Aufnahmedisposition wie in der terrestrischen Photogrammetrie entsteht. Die Frage dabei ist, ob aufgrund der unterschiedlichen Perspektiven tatsächlich derselbe Objektpunkt in solchen Bildern sichtbar ist und auch zuverlässig gemessen werden kann. Neben Verdeckungen durch andere Objekte spielen dabei auch Unterschiede in der Radiometrie aufgrund unterschiedlicher Ausleuchtung eine Rolle. Diese wesentlich größere Bandbreite des Schnittwinkels führt auch zu einer größeren Heterogenität bei der Objektpunktgenauigkeit und die Höhengengenauigkeit ist nicht automatisch schlechter als die Lagegenauigkeit.

Anhand von empirischen Untersuchungen bei mehreren Projekten konnten wir durch Vergleich mit terrestrischen Vergleichsdaten zeigen, dass Objektpunktgenauigkeiten im Bereich der Bodenauflösung des Bildflugs sowohl in der Lage als auch in der Höhe erreichbar

sind. Damit ist die photogrammetrische Bestandsauswertung aus hochauflösenden Bildflügen (5 cm GSD oder besser) auch im Hinblick auf die Genauigkeit eine echte Alternative zu terrestrischen Vermessungen. Ein Beispiel für Vektordaten aus unterschiedlichen Quellen ist in Abb. 4 dargestellt.

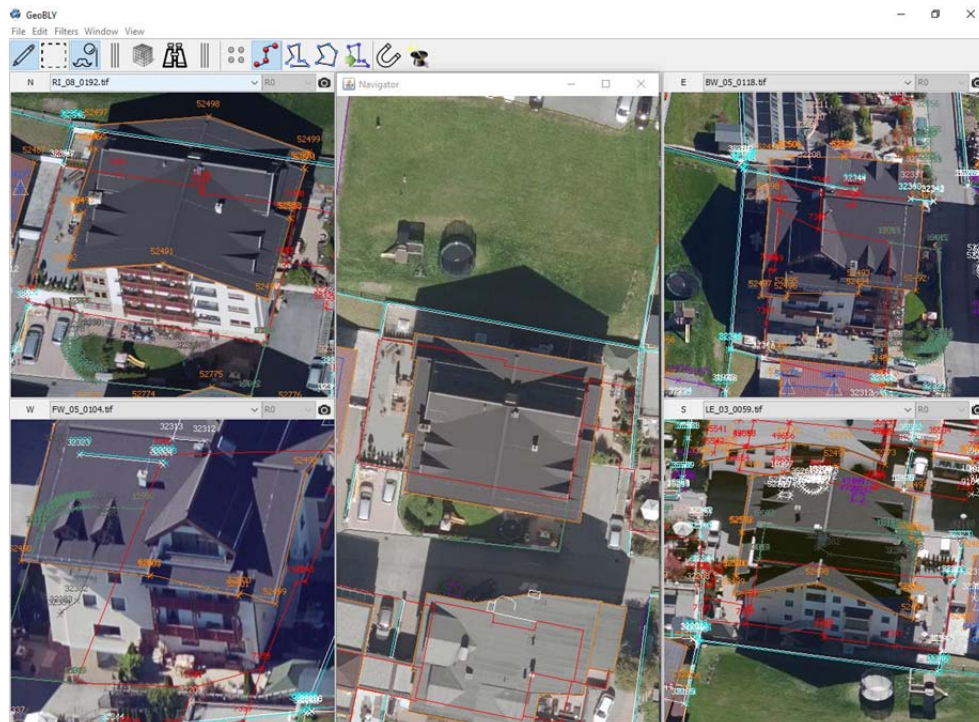


Abb. 4: GEOBLY-Auswertetool mit Vektordaten aus unterschiedlichen Quellen (Nadir-Bildflug, terrestrische Vermessung, Oblique-Auswertung).

5 Zusammenfassung

Die Schrägbild-Auswertung bietet ein sehr großes Potenzial für detaillierte Bestandsaufnahmen mit hohen Qualitätsansprüchen. Mit unserer Eigenentwicklung GEOBLY sind wir auf einem sehr guten Weg, dieses Potenzial zu heben und damit unsere Projekte wesentlich effizienter abzuwickeln.

Literatur

FBK TRENTO (2016): <https://3dom.fbk.eu/> (letzter Zugriff: 17.11.2016).

GERKE, M. & KERLE, N. (2011): Automatic Structural Seismic Damage Assessment with Airborne Oblique Pictometry© Imagery. Photogrammetric Record, Vol. 9, 885-898.

- GERKE, M. & NYARUHUMA, A. (2009): Incorporating scene constraints into the triangulation of airborne oblique images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 1-4-7/W5.
- Gerke, M. & Nex, F. & Remondino, F. & Jacobsen, K. & Kremerd, J. & Karel, W. & Huf, H. & Ostrowski, W. (2016): Orientation of oblique airborne image sets – Experiences from the ISPRS/EuroSDR benchmark on multi-platform photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B1, 185-191.
- GRUBER, M. (2015): Ultracam Osprey – nadir meets oblique. EUROSDR/ISPRS Workshop “Oblique cameras and dense image matching”, October 2015, Southampton, UK.
- HAALA, N. & ROTHERMEL, M. (2015): Image-based 3D Data Capture in Urban Scenarios. *Proc. Photogrammetric Week 2015*, D. Fritsch (Ed.), 119-130.
- IGI SYSTEMS (2016): <http://www.igi-systems.com/igi-urbanmapper.html> (letzter Zugriff: 17.11.2016).
- JACOBSEN, K. (2008): Geometry of vertical and oblique image combination. *Remote Sensing for a Changing Europe: Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories*, Istanbul, Turkey.
- JURISCH, A. & MOUNTAIN, D. (2008): Evaluating the viability of Pictometry® imagery for creating models of the built environment. *Computational science and its applications – ICCSA 2008*, 663-677.
- LEICA GEOSYSTEMS (2016): <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors/leica-rcd30-penta-oblique> (letzter Zugriff: 17.11.2016).
- MELOWN (2016): <http://www.avt.at/news-presse/news-meldung/imst-3d-stadtmodell.html> (letzter Zugriff: 18.11.2016).
- MOE, K. & TOSCHI, I. & POLI, D. & LAGO, F. & SCHREINER, C. & LEGAT, K. & REMONDINO F. (2016): Changing the production pipeline – Use of oblique aerial cameras for mapping purposes. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B4, 631-637.
- NFRAMES (2016): <http://www.nframes.com/sure-arial/> (letzter Zugriff: 16.11.2016).
- PIX4D (2016): <https://pix4d.com/> (letzter Zugriff: 16.11.2016).
- REMONDINO, F. & GERKE, M. (2015): Oblique Aerial Imagery – A Review. *Proc. Photogrammetric Week 2015*, D. Fritsch (Ed.), 75-83.
- RUPNIK, E. & NEX, F. & REMONDINO, F. (2013): Automatic orientation of large blocks of oblique images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XL, Part 1/W1, pp. 299-304.
- RUPNIK, E. & NEX, F. & TOSCHI, I & REMONDINO, F. (2015): Aerial multi-camera systems: Accuracy and block triangulation issues. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 101, pp. 233-246.
- TRIMBLE (2016): <http://www.trimble.com/imaging/inpho.aspx> (letzter Zugriff: 16.11.2016).
- WIEDEMANN, A & MORE, J. (2012): Orientation strategies for aerial oblique images. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIX, Part B1, 185-189.