

SEHEN MESSEN VERSTEHEN ■■■

Hochpräzises Messen in Luftbildern

MIT **DEM** WEBTOOL FÜR PHOTOGRAMMETRIE

THE
MEASUREE



Whitepaper

2024

Zum Autor

Klaus Legat (geb. 1975) hat an der Technischen Universität Graz (TUG) Vermessungswesen studiert (1993-99) und im Anschluss das Doktoratsstudium der Technischen Wissenschaften absolviert (1999-2002). Danach war er als Universitätsassistent für Lehre und Forschung an der TUG beschäftigt. In den Jahren 2005-06 war er im Rahmen eines Erwin-Schrödinger-Stipendiums des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) tätig, wo er an einem Prototyp-System für die Hubschrauber-basierte, kinematische Vermessung mitgewirkt hat („Helimap“).

*Von 2007 bis 2023 leitete er bei der Vermessung AVT-ZT-GmbH in Imst den Geschäftsbereich Photogrammetrie (bildgestützte Vermessung) und Fernerkundung (berührungslose Datenerfassung). Seit 2018 ist er Prokurist und Technischer Leiter der AVT Airborne Sensing GmbH mit Hauptsitz in Greven / Deutschland. Seit 2024 ist er zudem Geschäftsführer der **AVT Airborne Sensing Austria GmbH** mit Sitz in Imst / Österreich.*

Die AVT Group befasst sich bereits seit 2015 mit kombinierten Senkrecht- und Schrägbildkameras (Mehrkopf- oder Multiperspektiven-Kameras). Bereits zu Beginn dieser Tätigkeit wurde der Bedarf nach einer eigenen Software-Lösung für das Arbeiten mit den Bildern von Mehrkopf-Kamerasystemen erkannt. Dies führte zur Entwicklung des Desktop-Tools „Geobly“ gemeinsam mit der Fondazione Bruno Kessler (FBK) in Trient. Aufgrund zahlreicher Kundenanfragen wurde im Jahr 2021 eine Neuentwicklung von Geobly auf Browser-Basis begonnen. Die Funktionalität dieses neuen Tools, das den Namen „MEASUREE“ erhielt, geht weit über das ursprüngliche Konzept hinaus. Anhand von MEASUREE werden in diesem Whitepaper die wichtigsten Eigenschaften von kombinierten Senkrecht- und Schrägbildflügen vorgestellt.

Dr. Klaus Legat

k.legat@avt.at

AVT-Airborne Sensing Austria GmbH

www.avt-as.eu

Eichenweg 42, A-6460 Imst



Überblick

Der immense Mehrwert für die Nutzer*innen von Bildflugdaten, der durch die Hinzunahme von Schrägbildern entsteht, kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Ständig werden neue Anwendungsmöglichkeiten insbesondere in der Verwaltung von Städten und Regionen und deren Entwicklung zu **Smart Cities** und **Smart Regions** entwickelt und vorgestellt.

Kund*innen, die einmal die Vorteile von Schrägbildern erkannt haben, wollen auch bei künftigen Projekten nicht mehr darauf verzichten: Einer moderaten Kostensteigerung steht ein ungleich größerer Zusatznutzen durch die zusätzlichen Schrägperspektiven gegenüber – man gewinnt buchstäblich ständig neue Einblicke bei der täglichen Arbeit. Schließlich wird erst durch Schrägbilder ein „digitaler Zwilling“ möglich, der diesem Begriff gerecht wird.

Mit diesem Whitepaper möchten wir Ihnen **MEASUREE** als ideales Werkzeug zum Arbeiten mit Schrägluft- sowie Nadirbildern präsentieren.

Der Text ist in fünf Kapitel unterteilt:

In Kapitel 1 (Seite 4) werden die wichtigsten Anwendungen von (Schräg-)Luftbildern im Überblick beschrieben.

In Kapitel 2 werden häufig benötigte Begriffe der Photogrammetrie (Seite 9) erläutert. Dieser Abschnitt kann von Expert*innen dieses Fachbereichs übersprungen werden).

Kapitel 3 (Seite 18) befasst sich mit verschiedenen Messverfahren anhand von Luftbildern und Kapitel 4 (Seite 23) führt in die Funktionsübersicht von **MEASUREE** ein.

Das abschließende Kapitel 5 (Seite 30) enthält einen kurzen Einstieg in die Benutzung von **MEASUREE** mit einigen Beispielbildern.

Einleitung

Luft- und Satellitenbilder haben in den letzten Jahren Einzug in viele Bereiche unseres täglichen Lebens gehalten. Digitale Globen haben gedruckte Karten und Atlanten fast vollständig abgelöst. Jedes moderne Smartphone bietet positionsgestützte Apps wie etwa Navigationsdienste an und die dafür erforderliche Datenbasis stammt zum überwiegenden Teil aus Luft- bzw. Satellitenbild-Auswertungen.

Dieses Whitepaper befasst sich vornehmlich mit der Nutzung von Luftbildern bemannter oder unbemannter Luftfahrzeuge im kommunalen Bereich; die meisten Beschreibungen und Erkenntnisse sind jedoch in sehr ähnlicher Weise auch auf Satellitenbilder anwendbar.

Einer der größten Vorteile von Luftbilddaten ist, dass das Gesamtgebiet (z.B. eine Stadt) in einem (nahezu) vollständig **homogenen Zustand** gezeigt wird, da die Aufnahme im Vergleich zu bodengebundenen Aufnahmen nur sehr kurze Zeit in Anspruch nimmt. Beispielsweise dauert die Aufnahme einer Großstadt wie Wien (ca. zwei Millionen Einwohner, Gebietsgröße rund 600 km²) mit einer Bodenauflösung (*Ground Sampling Distance, GSD*) von 5 bis 10 cm pro Pixel weniger als 10 Stunden. Moderne Sensorsysteme für bemannte Befliegungen erlauben Auflösungen bis zu 2 cm oder besser, Drohnen-basierte Aufnahmen dringen sogar in den Subzentimeter-Bereich vor. Demgegenüber sind hochqualitative Satellitenbilder aufgrund der Aufnahmegeometrie sowie aufgrund atomosphärischer Einflüsse auf Auflösungen im Dezimeter-Bereich beschränkt.

Luftbilder sind ein sehr bedeutsames Mittel zur **Dokumentation der Natur bzw. der Siedlungsräume** zu einem bekannten Stichtag und werden auch häufig als objektives Mittel zur Klärung von rechtlichen Fragestellungen wie z.B. Grenzstreitigkeiten eingesetzt. Gerade in Zeiten rascher Klimaerwärmung und den damit einhergehenden wachsenden Herausforderungen für urbane Zonen (Überhitzung, Umstieg auf erneuerbare Energien, Steigerung der Gebäudeeffizienz) gewinnen Luftbilder immens an Bedeutung. Dabei kommen nicht nur optische Bilder sondern auch thermale Infrarot (TIR-) und Hyperspektral- (HS-)Aufnahmen zum Einsatz.

Zu den wichtigsten **Anwendungsgebieten** von Luftbildern zählen:

- **Orts-, Stadt- und Regionalplanung:** Herstellung von Grundlagendaten für unterschiedlichste Planungsmaßnahmen, Überblendung von Modellen geplanter Gebäude oder sonstiger Bauwerke mit Luftbildern
- **Kontrolle und Begutachtung** von bestehenden Bauwerken: Kontrolle der Einhaltung von Baubescheiden (Höhe, Kubatur, Anbauten, Nebengebäude, Schwimmbecken), Eignung von Bauwerken (Dach- und Fassadenflächen) für die Begrünung bzw. für die Ausrüstung mit Solarelementen (Photovoltaik- oder thermische Solar-Panels)
- **Kommunale Versorgung:** Inventar der sichtbaren Infrastruktur der Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung (z.B. Wasserschieber, Schächte, Einlaufgitter, Rigole), der Stromversorgung (z.B. Umspannanlagen, Transformatoren, Verteilerkästen, Leitungen) und sonstiger oberirdischer Versorgungseinrichtungen (z.B. Fernwärme, Gas)
- **Straßenverwaltung:** Zustand der Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze), Inventar (z.B. Menge der zu erneuernden Bodenmarkierungen)
- **Grünraum:** Beurteilung des Zustands von natürlichen bzw. naturnahen Zonen im öffentlichen und privaten Bereich (ohne die Notwendigkeit, diese Flächen betreten zu müssen), z.B. Grasflächen (Mahd, Düngung), Hecken (Schnitt), Bäume (Zustand, Schnitt, Pflege, vorgeschriebene Neubepflanzung nach Baumaßnahmen)
- **Umweltfragen:** Versiegelungsdichte (Oberflächenentwässerung, sommerliche Überhitzung), Lärmausbreitung und Frischluftzufuhr (Simulation anhand von 3D-Gebäude- oder Stadtmodellen)
- **Geometriebasierte Aufgaben:** Vermessung, Routenplanung und Zielführung

Alle diese Anwendungen benötigen eine oder mehrere **Grundfunktionen**:

- **Betrachtung** (engl. Viewing) eines Interessensbereichs ohne ihn besuchen zu müssen, vorzugsweise aus mehreren Perspektiven (sequentiell oder synchron), siehe Abb. 1
- **Verstehen** von räumlichen Zusammenhängen: Größenordnungen, Relationen, Topologie
- **Messung** von einfachen geometrischen Größen: 2D- und 3D-Distanzen (z.B. Länge eines Objekts, Abstände oder Höhenunterschiede zwischen Objekten), Flächeninhalte von geschlossenen Polygonen (horizontal bzw. an der Oberfläche), räumliche Ausrichtung von geneigten Ebenen (Himmelsrichtung, Neigungswinkel)
- **3D-Kartierung** einzelner Objekte oder ganzer Objektgruppen

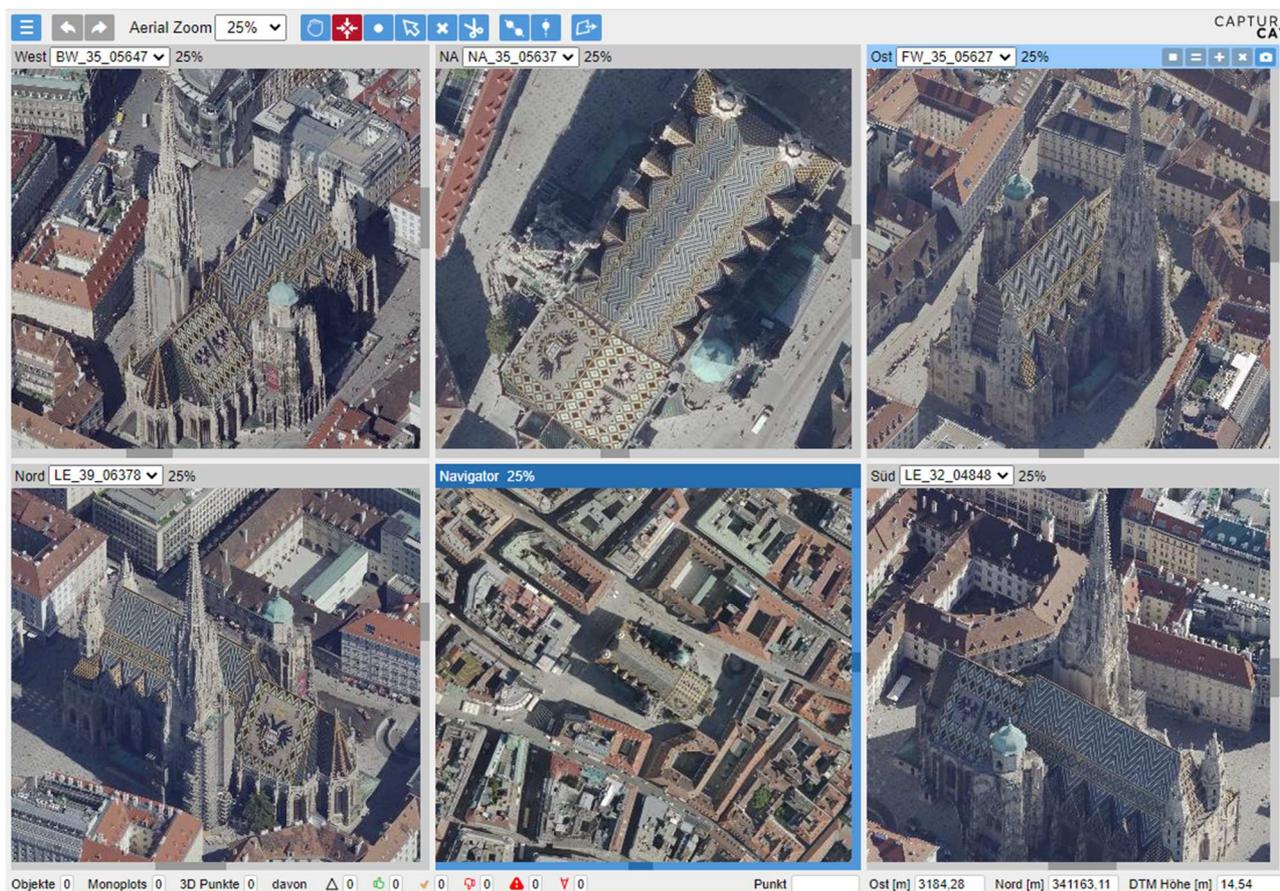


Abb. 1: Stephansdom in Wien (2020) aus unterschiedlichen (Schräg-)Bildperspektiven in MEASUREE

Eine vollständige Kartierung und hierarchische Modellierung der oben genannten Objekte ist mit sehr großem Aufwand an menschlicher Arbeit verbunden. Daher werden solche Projekte oft in Billiglohnländer verlagert (*Outsourcing*), was einerseits für die Wertschöpfung im eigenen Land von Nachteil ist und andererseits auch den Zugang zu möglicherweise sensiblen Daten der öffentlichen Verwaltung für externe Personen oder Unternehmen ermöglicht.

Hinzu kommt, dass eine vollständige Inventarisierung in vielen Fällen gar nicht benötigt wird. Daher ist es insbesondere für konkrete (und daher vielfach kleinräumige) Fragestellungen wesentlich sinnvoller, jenen Personen, die die Daten benötigen, die Möglichkeit zu eröffnen, die Daten selbst in jenem Detailgrad zu erheben, wie es die Anwendung tatsächlich erfordert.

Dieser Paradigmenwechsel kann nur dann sinnvoll stattfinden, wenn die Datenerfassung möglichst **niederschwellig** erfolgt. Das bedeutet, dass das entsprechende Werkzeug **kein Expertenwissen erfordert** (also einfach und intuitiv bedienbar ist) und korrekte Ergebnisse mit kontrollierter Qualität liefert. Der Nachweis der Genauigkeit und die Kontrollierbarkeit der

Resultate sind insbesondere dann erforderlich, wenn rechtsverbindliche Aussagen wie z.B. (Bau-)Bescheide auf Basis der so erfassten Geodaten erlassen werden.

Während senkrecht aufgenommene Luftbilder bereits sehr weit verbreitet sind, sind **schräg aufgenommene Luftbilder** in der Vermessung und Kartographie noch relativ neu. Schrägluftbilder – oder kurz Schrägbilder – zeichnen sich dadurch aus, dass sie die dreidimensionale Struktur von Objekten sichtbar machen – insbesondere dann, wenn ein zu untersuchendes Objekt gleichzeitig aus mehreren Perspektiven betrachtet werden kann (vgl. Abb. 1).

Es mangelt jedoch noch an intuitiv zu bedienenden und effizienten Werkzeugen, die das gesamte Potenzial ausschöpfen können, das Schrägbilder für die Beantwortung raumbezogener Fragestellungen bieten. Genau diese Lücke füllt **MEASUREE**, indem es den geforderten niederschweligen – also *nicht* den (Vermessungs-)Experten*innen vorbehaltenen – Zugang zu Schrägbildern eröffnet.

MEASUREE

Die Anwender*innen bringen ihre fachliche Expertise ein und **MEASUREE** ermöglicht auf einfache und intuitive Weise die Lösung ihrer Aufgabe anhand von Luftbildern. So können insbesondere städtische Umgebungen gleichzeitig aus mehreren Blickwinkeln betrachtet werden und ungewohnte, oft sehr aufschlussreiche Einblicke in räumliche Zusammenhänge gewonnen werden.

Einfache Messungen wie Abstände, Längen, Höhenunterschiede, oder Flächeninhalte sind auch für unerfahrene Benutzer*innen rasch und unkompliziert realisierbar. Aber auch für Experten*innen bietet **MEASUREE** eine Fülle von Möglichkeiten für die hochgenaue und zuverlässige Kartierung und 3D-Modellierung komplexer Objekte und Szenen sowie für die Qualitätssicherung von 3D-Datensätzen. Verschiedene Flüge desselben Gebiets (z.B. aus verschiedenen Flugjahren oder mit anderen Sensoren wie etwa Thermalkameras) können miteinander kombiniert, verglichen und „synchronisiert“ werden. Dadurch entwickelt sich das Verständnis für die natürliche und menschengemachte Veränderung unseres Lebensraums wie von selbst weiter.

Durch die **Web-basierte Implementierung** von **MEASUREE** benötigen Benutzer*innen lediglich einen herkömmlichen Web-Browser, um die Arbeit mit den Senkrecht- und Schrägbildern eines Bildflugs zu beginnen. Es erfordert auch keine besondere und oft teure Hardware, wie sie typischerweise in der „klassischen“ Photogrammetrie (synchrone stereoskopische Messung) benötigt wird – ein handelsüblicher Rechner reicht völlig.

Eine der großen Herausforderungen bei kombinierten Senkrecht- und Schrägbildflügen ist die sehr große Datenmenge (je nach Gebietsgröße oftmals im zweistelligen Terabyte-Bereich) und die Unübersichtlichkeit des Datensatzes insbesondere bei hochauflösenden und stark überlappenden Befliegungsdatensätzen. Dieser Problematik begegnet MEASUREE durch effektive Bildkompression, Kachelung und Bildpyramidenbildung (Speicherung der Bilder in mehreren Auflösungsstufen, die je nach Zoomstufe bei der Betrachtung bedarfsgerecht geladen werden) sowie durch sehr elegante Sortierungsverfahren. Auf diese Weise wird den Benutzer*innen das aufwändige Suchen der für eine Aufgabenstellung am besten geeigneten Bilder nahezu vollständig abgenommen.

Großes Augenmerk wurde auf die **intuitive** und damit sehr **benutzerfreundliche Bedienung** der Software durch ein effizientes und übersichtlich gestaltetes Graphisches User-Interface (GUI) gelegt. Bei der Konzeption und Entwicklung von MEASUREE floss auch Fachexpertise aus dem Bereich User Experience Design (UX-Design) ein, um die Bedienung einfach und effektiv zu gestalten ohne besonderes Vorwissen oder aufwändige Einschulung der Anwender*innen vorauszusetzen.



Begriffe der Photogrammetrie

In diesem Abschnitt werden wichtige Begriffe für das Verständnis dieses Dokuments erläutert. Der Großteil davon ist Personen, die über Erfahrung bei der Arbeit mit Geodaten und/oder Luftbildern verfügen, wahrscheinlich bestens bekannt. Dieses Kapitel richtet sich daher insbesondere an jene Leser*innen, die sich die wichtigsten Fachbegriffe der Photogrammetrie aneignen möchten. Photogrammetrie-Experten können diesen Abschnitt dagegen getrost überspringen.

Luftbild

Aufgrund der bei fotografischen Abbildungen vorherrschenden Zentralperspektive weist ein Luftbild *keinen* einheitlichen Abbildungsmaßstab auf, wie man es aus Plänen und Karten kennt. Folglich werden näher gelegene Objekte größer und weiter entfernte Objekte kleiner dargestellt.

Die überwiegende Mehrzahl der Luftbilder für Vermessung und Kartographie wurde in der Vergangenheit (nahezu) senkrecht aufgenommen (**Nadirbild**). Wenn die Aufnahme mit einer zur Nadirrichtung deutlich geneigten Blickrichtung erfolgt (Winkel zwischen 35° und 45° sind am häufigsten), spricht man von einem Schrägluftbild oder kurz **Schrägbild** (engl.: **Oblique**). Da der englische Begriff auch im deutschsprachigen Raum Eingang in die tägliche Arbeit der Photogrammetrie gefunden hat, werden beide Bezeichnungen in diesem Whitepaper synonym verwendet.

Aufgrund der rasanten Entwicklung der Kamertechnik der letzten zwanzig Jahre werden nun vermehrt auch Schrägbilder aufgenommen, insbesondere für dicht verbaute, urbane Zonen. Inzwischen gibt es **kombinierte Nadir- und Oblique-Kamerasysteme** von allen namhaften Kameraherstellern wie z.B. Vexcel Imaging, Leica/Hexagon, Phase One und IGI. Dabei werden an jedem vorab geplanten Auslösepunkt ein Nadir- und vier Oblique-Bilder aufgenommen. Die Schrägbilder weisen meist eine einheitliche Neigung auf und werden in Flugrichtung gesehen nach vorne, rechts, hinten und links fotografiert.

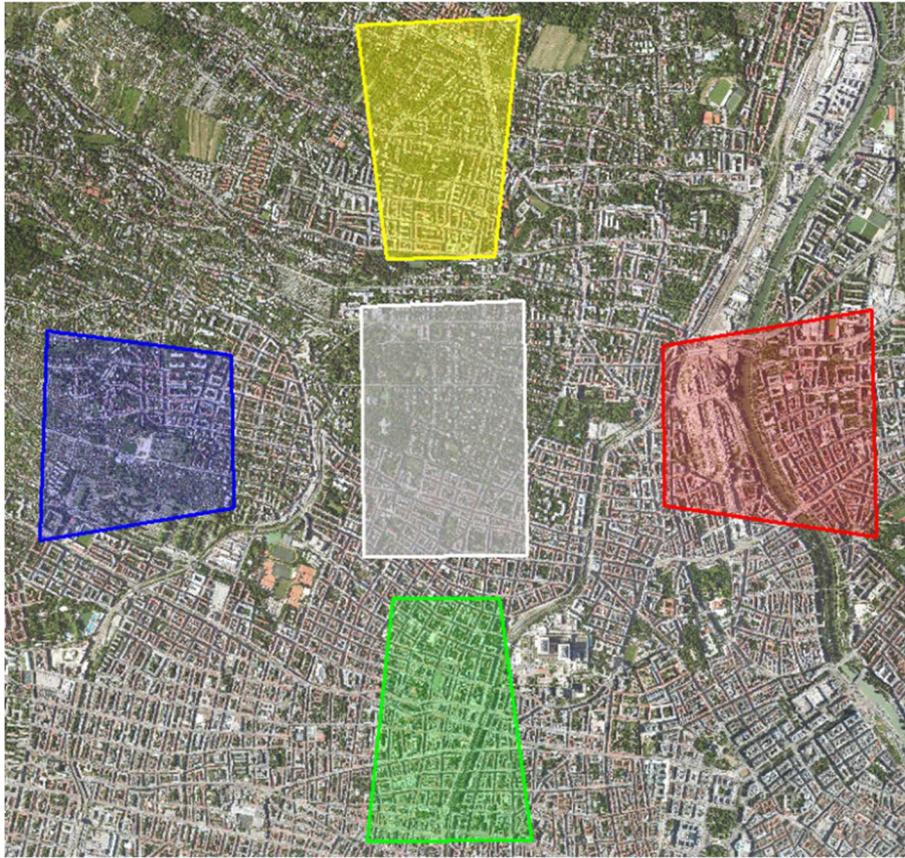


Abb. 2: Footprint einer Malteserkreuz-Kamera im Flachland, Flugrichtung von West nach Ost. Nadirbild = grau, Schrägbilder = rot (vorwärts), grün (rechts), blau (rückwärts) und gelb (links).

Footprint

Das Polygon, das die Abdeckung eines Luftbilds auf der Erdoberfläche begrenzt, wird als „Footprint“ bezeichnet. Bei ebenem Gelände ist der (idealisierte) Footprint eines Nadirbilds ein Rechteck. Die (idealisierten) Footprints der Schrägbilder sind bei ebenem Gelände trapezförmig. Die Kombination der fünf Footprints eines Bildauslösepunkts ähnelt einem Malteserkreuz (vgl. Abb. 2), weshalb kombinierte Nadir- und Schrägbild-Sensorsysteme auch als Malteserkreuz-Kameras bezeichnet werden. Im Hügelland bzw. im Gebirge weicht die Form der Footprints deutlich von der Trapezform ab (vgl. Abb. 3).



Abb. 3: Footprints einer Malteserkreuz-Kamera im Bergland (Zams, Tirol, 2019). Links = alle fünf Bilder eines Auslösepunkts, Rechts = Bilder aller fünf Kameras an einem Ort (verschiedene Auslösepunkte).

Photogrammetrie

Bilder, die hohe Anforderungen an die geometrische Genauigkeit und an die Farbqualität (Radiometrie) erfüllen, eignen sich als „Messbilder“. Die (Aero-)Photogrammetrie befasst sich mit der Vermessung anhand von (Luft-)Bildern.

Für die Vermessung mit Bildern ist einerseits die Kenntnis der **Kalibrierparameter der Kamera** zum Aufnahmezeitpunkt erforderlich. Dazu zählen die Brennweite, der Bildhauptpunkt (Durchstoßpunkt der optischen Achse durch die Bildebene) und die Objektiv-Verzeichnung (Abweichungen von der idealen Abbildung eines gänzlich fehlerfreien Linsensystems). Diese Parameter sind im Idealfall über längere Zeiträume hinweg konstant bzw. werden z.B. thermische Einflüsse auf die innere Geometrie der Kamera anhand der Messdaten von Temperaturfühlern im Kameragehäuse modelliert und kompensiert.

Andererseits müssen die 3D-Position sowie die räumliche Ausrichtung jedes Luftbilds zum Aufnahmezeitpunkt ermittelt werden. Diese sechs Parameter (drei Koordinaten, drei Drehwinkel) werden gemeinsam als **äußere Orientierung** bzw. engl. *exterior Orientation* (EO) bezeichnet und werden bei Luftbildern meistens im Rahmen einer Aerotriangulation für einen ganzen Bildflug gemeinsam bestimmt.

Bei der Bildaufnahme wird das von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenlicht mithilfe des Objektivsystems gesammelt und auf die Bildebene projiziert. Der (dreidimensionale) Raum wird also auf eine (zweidimensionale) Ebene reduziert. Dieser Vorgang kann folglich anhand

eines einzelnen Bildes nicht umgekehrt werden – die Abstände (Tiefe) der fotografierten Objekte vom Aufnahmepunkt (Projektionszentrum der Kamera) bleiben unbekannt.

Die **dreidimensionale Rekonstruktion** von Objekten wird durch Hinzunahme eines zweiten Bildes derselben Szene aus einer unterschiedlichen Perspektive (anderer Aufnahmepunkt und ggf. auch andere Blickrichtung) ermöglicht. Dieses Verfahren wird als **Stereo-Photogrammetrie** bezeichnet und ist eine technische Nachbildung des räumlichen Sehens von Menschen und Tieren anhand eines Augenpaares.

In der Aero-Photogrammetrie werden zwei im Flug hintereinander aufgenommene Luftbilder ähnlicher Perspektive (meist Nadir) anhand spezieller Hardware (Graphikkarte, Bildschirm, Brille) für die synchrone, stereoskopische (bzw. Zweibild-) Messung genutzt. Klassisch werden Nadirbilder so aufgenommen, dass sie sich in Längsrichtung um min. 60 % überlappen (**Längsüberdeckung, LÜ**). Damit ist gewährleistet, dass die gesamte durch den Bildflug aufgenommene Szene stereoskopisch betrachtet werden kann.

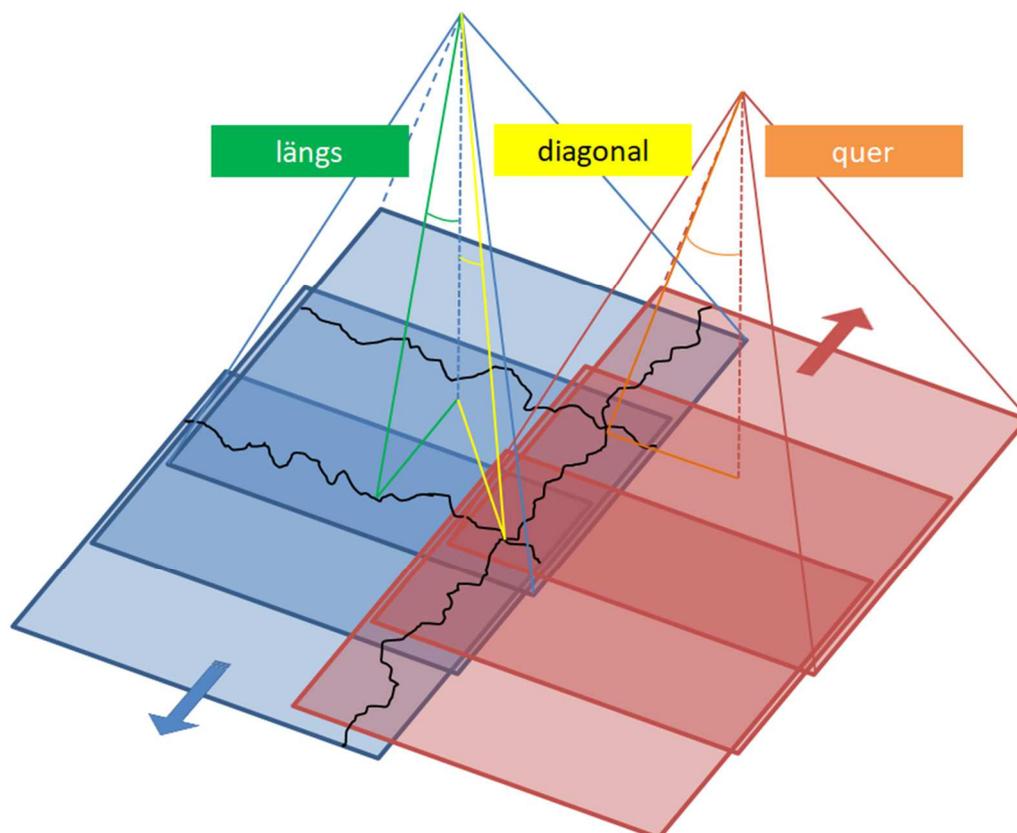


Abb. 4: Bildflug mit 60 % Längs- und 25 % Querüberdeckung, mit Schnittlinien des Orthophoto-Mosaiks. Genutzter Bereich einzelner Bilder in Längs-, Quer- und Diagonalrichtung.

Für die Aufnahme größerer Gebiete wie ganzer Städte erfolgt die Befliegung anhand mehrerer, meist paralleler Flugstreifen. Die Überlappung der Nadir-Flugstreifen quer zur Flugrichtung (**Querüberdeckung, QÜ**) orientiert sich an der Topographie sowie an der Bebauungsdichte des aufzunehmenden Gebiets und beträgt klassisch zwischen 20 % (Flachland) und 40 % (Gebirge) der Flugstreifenbreite (vgl. Abb. 4).

Orthophoto

Unter einem Orthophoto versteht man ein maßstäbliches Abbild von Teilen der Erdoberfläche. Um ein Luftbild in ein Orthophoto überführen zu können (Ortho-Rektifizierung), muss die räumliche Struktur der aufgenommenen Szene bekannt sein. Wenn hierfür ein digitales Geländemodell (**DGM**) verwendet wird (**konventionelles Orthophoto**), werden Objekte, die aus dem Gelände herausragen, mit einem Lageversatz dargestellt (Bildsturz). Die Größe des Bildsturzes hängt von der Position des Objekts im Bild (je zentraler, desto geringer) und vom Höhenunterschied zum Gelände ab (je höher, desto größer), siehe auch Abb. 4. Nutzt man dagegen ein digitales Oberflächenmodell (**DOM**) zur Ortho-Rektifizierung, so tritt kein Bildsturz auf (**True Orthophoto**). Bei einem **Orthophoto-Mosaik** werden größere Bereiche durch eine Vielzahl von Einzel-Orthophotos abgedeckt.

Hinweis: Gelände- und Oberflächenmodelle sind zwar räumliche Modelle, die meist auch eine konstante Rasterweite aufweisen, zählen jedoch streng genommen nicht zu den 3D-Modellen. Der Grund dafür ist, dass in einem solchen Modell zu jedem Rasterpunkt im abgedeckten Bereich nur eine einzelne Höhe existieren kann. Daher können keine senkrechten oder überhängenden Strukturen nachgebildet werden. Man spricht daher auch von 2,5D-Modellen.

3D-Mesh

Ein *Mesh* beschreibt ein Objekt oder eine Szene anhand einer unregelmäßigen Dreiecksvermaschung (*Triangulated Irregular Network* oder TIN). Dabei richtet sich die Größe der Dreiecke, die die Oberfläche anhand von Ebenenstücken (Facetten) nachbilden, nach der geometrischen Komplexität der Objekte und nach dem gewünschten Detailgrad der Modellierung. D.h. je komplexer das Objekt ist und/oder je höher der gewünschte Detailgrad ist, desto kleiner sind die Facetten im Mesh.

Mit einem 3D-Mesh können auch senkrechte und überhängende Oberflächen nachgebildet werden. Anhand von (Schräg-)Luftbildern können die Facetten texturiert werden, wodurch sich (nahezu) fotorealistische Modelle mit frei wählbarer Betrachtungsperspektive ergeben (vgl. Abb. 5). Genau diese Flexibilität des Standpunkts und Blickwinkels des Betrachters ist die

große Stärke eines 3D-Mesh gegenüber den eigentlichen Luftbildern, deren Perspektive durch die Aufnahme festgelegt ist.



Abb. 5: Ausschnitt aus einem 3D-Mesh der Stadt Kopenhagen von 2021 (GSD der Luftbilder: 2,5 cm)

Der Nachteil beim Mesh liegt in den Grenzen der automatischen Verfahren, mit dem es erstellt wird. Üblicherweise kommt hierbei **Dense Image Matching** (DIM), also pixelweises Verknüpfen aller hinreichend überlappenden Bilder und/oder Laserscanning, zum Einsatz. Das DIM hat sich in den letzten fünfzehn Jahren rasant weiterentwickelt, aber es bestehen nach wie vor Probleme bei komplexen oder nur teilweise sichtbaren Geometrien und vor allem bei Oberflächen, die sich im Schlagschatten anderer Objekte befinden.

Daher sollte die Zoomstufe, mit der ein Mesh betrachtet werden kann, auf ein ganzzahliges Vielfaches der tatsächlichen Auflösung der zugrundeliegenden Bilder beschränkt werden. Wenn eine solche Begrenzung nicht besteht und die Betrachter*innen das Objekt beliebig nahe zu sich „heranholen“ können, werden die Fehler offensichtlich und führen zu einer Verunsicherung, die sogar ein gänzlich Verwerfen des Datenmaterials nach sich ziehen kann (vgl. Abb. 6). Gleichzeitig wird dadurch auch klar, dass sich ein 3D-Mesh *nicht* für detailgetreue Vermessungen hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit eignet.

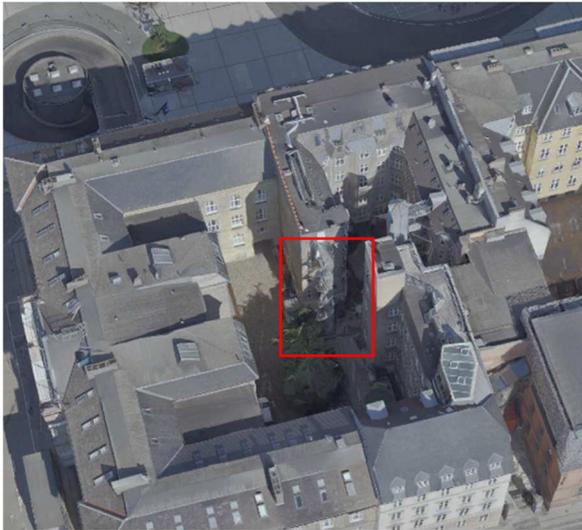


Abb. 6: Probleme im 3D-Mesh von Kopenhagen 2021 werden in (zu) hohen Zoomstufen sichtbar (rechts)

3D-Punktwolken

Eine 3D-Punktwolke ist eine unregelmäßige und nicht strukturierte Nachbildung einer Szene (daher der Begriff „Wolke“) anhand von 3D-Punkten. Solche Datensätze entstehen bei der Vermessung mittels Laserscanning (aktive Abtastung der Oberfläche mit einem Laserstrahl, der kontinuierlich neu ausgerichtet wird) oder auch beim DIM. Bei einer klassifizierten Punktwolke werden die Punkte in verschiedene Klassen (z.B. Boden, Vegetation, Gewässer, Gebäude, Leitungen, Fahrzeuge, etc.) eingeteilt. Dies geschieht durch manuelle und/oder automatische Methoden. Ein Beispiel für eine ALS-Punktwolke mit einer klassenbasierten Farbgebung ist in Abb. 7 dargestellt.

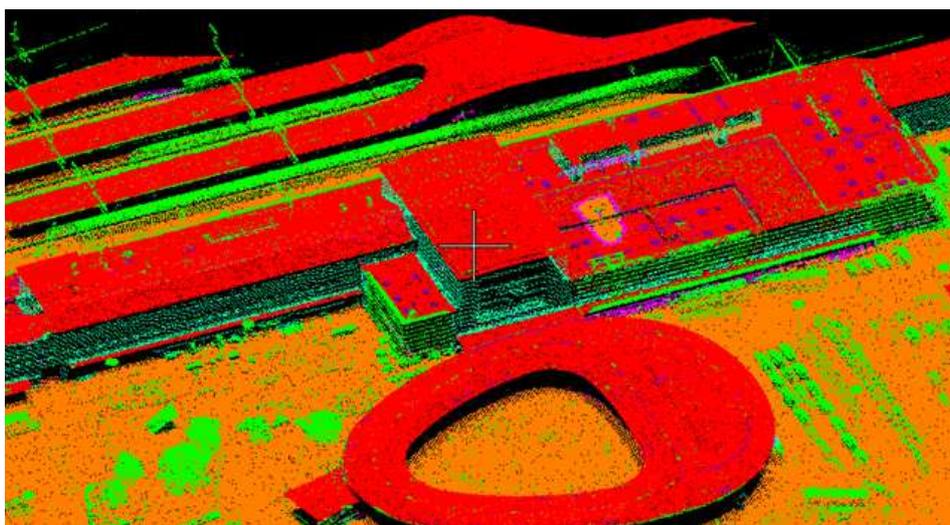


Abb. 7: Beispiel einer klassifizierten Punktwolke aus der Stadt Graz von 2018 (Hauptbahnhof)

Beim terrestrischen Laserscanning (TLS) oder mobilen Laserscanning (MLS) mit Straßenfahrzeugen sind die Abstände des Sensors von der Szene meist gering (wenige Meter), während sie beim **Airborne Laserscanning** (ALS) deutlich größer sind (hunderte Meter bis wenige Kilometer). Folglich sind bodengebundene Laser-Punktwolken deutlich detaillierter (typische Punktabstände im Millimeter- bis Zentimeterbereich) als ALS-Punktwolken (typische Punktabstände im Dezimeter- bis Meterbereich).

Die Punktdichte einer (photogrammetrischen) DIM-Punktwolke entspricht der GSD der zugrundeliegenden (Luft-)Bilder (Zentimeter-Bereich). In der Regel weisen Laser-basierte Punktwolken eine bessere geometrische (Höhen-)Genauigkeit auf. Zudem sind sie (weitgehend) frei von groben Fehlern, die beim DIM durch fehlerhafte Bildverknüpfungen insbesondere in Schlagschatten oder bewachsenen Gebieten auftreten können.

Vor allem ALS-basierte Punktwolken weisen nur eine geringe Kantenschärfe, beispielsweise von Gebäudedächern, auf, da die exakte Messpunktverteilung auf der Oberfläche vorab nicht geplant werden kann. Der *CityMapper* von Leica/Hexagon ist das weltweit erste hybride Sensorsystem für Befliegungen, bei dem eine Multiperspektiven-Kamera und ein Laserscanner im selben Gehäuse verbaut sind. Damit können auf sehr elegante Weise mit Echtfarben kolorierte Punktwolken erzeugt werden.

Wenn jedoch die 3D-Position eines Messpunkts aus den Laserdaten abgeleitet werden soll (anstatt durch photogrammetrische Mehrbildmessung), muss eine Interpolation erfolgen, da die GSD der Kamera besser ist als die Messpunktdichte der ALS-Punktwolke. Diese Interpolation kann durch Einbeziehung von DIM erfolgen, was jedoch wieder zum Nachteil der (für „optische Täuschungen“ anfälligen) pixelweisen Bildverknüpfung führt. Daher sind auch derartige hybride Punktwolken nur mit Einschränkungen für detailgetreue Vermessungen hoher Genauigkeit geeignet.

Hochüberlappende Bildflüge

Mit dem Aufkommen der digitalen Luftbildkameras seit Mitte der 2000er-Jahre und der immensen Zunahme der Leistungsfähigkeit moderner Computer-, Speicher- und Netzwerke systeme wurden zunehmend auch die Überlappungen bei photogrammetrischen Bildflügen gesteigert. So werden städtische Umgebungen heute meist mit 80 % LÜ und 60 % bis 80 % QÜ der Nadirbilder befliegen. Daraus resultiert, dass bei 60 % bzw. 80 % QÜ (nahezu) jede Stelle des aufgenommenen Gebiets in 15 Nadirbildern (fünf Bilder längs in jeweils drei Flugstreifen) bzw. 25 Nadirbildern (fünf Bilder längs in jeweils fünf Flugstreifen) enthalten ist (vgl. Abb. 8). Wenn ein derart hochüberdeckender Bildflug zudem mit einer kombinierten Nadir/Oblique-Kamera durchgeführt wird, kommt es zu einer weiteren Verfünffachung der

Bilder, die dieselbe Stelle der Szene zeigen. Man hat also oft 100 Bilder und mehr an jeder Stelle des beflogenen Gebiets zur Auswahl.

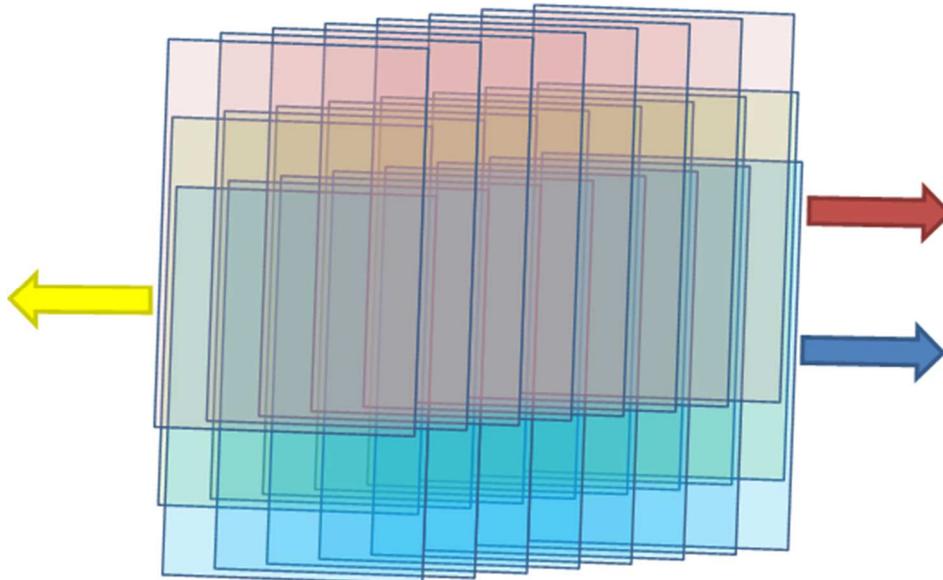


Abb. 8: Befliegung mit 80 % Überlappung in Längs- und Querrichtung (exemplarisch mit drei Flugstreifen zu je acht Bildern).

Damit ergibt sich eine für praktische Belange sehr wichtige Fragestellung: Welche Bilder sind am besten geeignet, um die räumlichen Zusammenhänge an einer bestimmten Stelle des Objektraums zu erkennen und verstehen zu können? Die naheliegende Antwort ist, dass jeweils jene Bilder gewählt werden sollen, in denen die betrachtete Stelle möglichst zentral liegt. Folglich muss der auf den Boden (bzw. das Geländemodell) projizierte Mittelpunkt jedes Bildes ermittelt und der Abstand zum gewünschten Objektpunkt bestimmt werden.

Bei kombinierten Nadir-Oblique-Flügen werden die Bilder idealerweise nicht nach der Flugrichtung, sondern nach der Himmelsrichtung sortiert und gruppiert, in die die Bilder aufgenommen wurden. Es wird immer wieder vorkommen, dass jenes Bild einer bestimmten Blickrichtung, in der das gesuchte Objekt möglichst zentral liegt, nicht geeignet ist, weil andere (im Vordergrund befindliche und/oder höhere bzw. größere) Objekte die Sicht verdecken. In diesem Fall ist es sehr hilfreich, wenn aus der Liste der an dieser Stelle verfügbaren Bilder ein alternatives Bild ausgewählt werden kann.

Messverfahren anhand orientierter Luftbilder

Luftbilder

Grundsätzlich lassen sich die Messverfahren, die mit orientierten Luftbildern angewendet werden können, in zwei Kategorien unterteilen:

Einzelbildmessung (Monobildmessung oder Monoplot)

Ein Objektpunkt wird nur in einem einzigen Bild gemessen: Wie in Kapitel **Begriffe der Photogrammetrie** beschrieben ist, ist ein einzelnes Bild nicht dafür geeignet, die aufgenommene Szene dreidimensional zu rekonstruieren. Wenn jedoch ein räumliches Modell der Szene bekannt ist, so kann eine Messung auch im Monomodus erfolgen. Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt neben der Genauigkeit der Bildorientierung von der Qualität der Messung sowie von der Güte (z.B. Detaillierungsgrad, Genauigkeit) und Aktualität des verwendeten räumlichen Modells ab. Ein hierfür geeignetes Modell kann sein (vgl. Abb. 9):

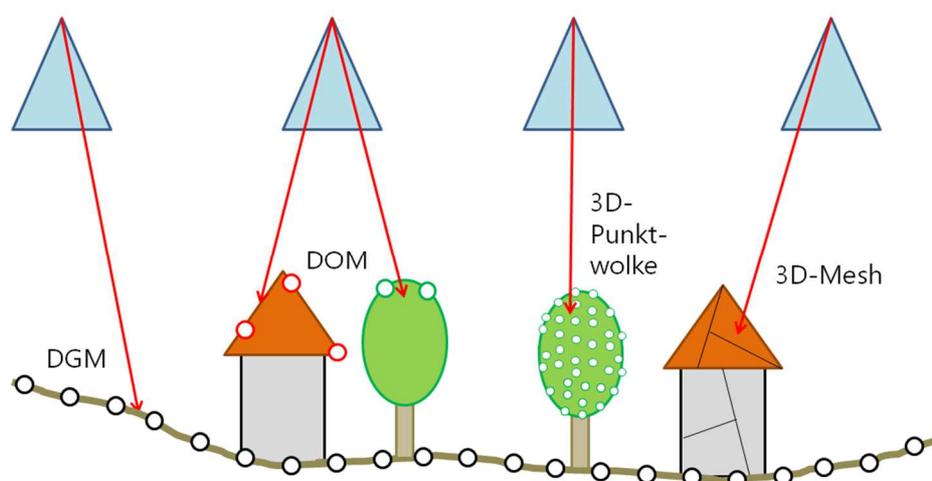


Abb. 9: Monoplot-Varianten

- Ein **DGM**: Der einzelne Messstrahl wird mit dem DGM verschnitten (es wird der Durchstoßpunkt des Messstrahls mit dem Modell ermittelt). Dieser Ansatz ist nur für Bodenpunkte sinnvoll.
- Ein **DOM**: Der einzelne Messstrahl wird mit dem DOM verschnitten. Dieser Ansatz ergibt meist keine genauen Resultate, da 2,5D-Modelle Objekte mit senkrechten Begrenzungen

(z.B. Gebäude) nicht korrekt darstellen können. Ein DOM-Monoplot kann jedoch eine sinnvolle Näherungsposition zur Unterstützung einer Mehrbildmessung sein.

- **Eine 3D-Punktwolke:** Der einzelne Messstrahl wird nur in den seltensten Fällen genau einen vorhandenen Punkt der Punktwolke treffen. Viel wahrscheinlicher ist es, dass der Messstrahl zwischen mehrere Punkte hindurchläuft. Es kann der dem Strahl nächstgelegene 3D-Punkt verwendet oder zwischen mehreren nahegelegenen 3D-Punkten interpoliert werden. Dieses Messverfahren wird beispielsweise beim Sensorsystem CityMapper von Leica/Hexagon angewendet, da es sich um ein hybrides System handelt, das sowohl eine Nadir-Oblique-Kamera als auch einen Laserscanner umfasst.
- **Ein 3D-Mesh:** Der einzelne Messstrahl wird mit jener Facette des Meshes verschnitten, die er (zuerst) durchdringt. Die Genauigkeit des Resultats wird in diesem Fall auch durch die Generalisierung des Meshes (Ausdünnung und Glättung der Punktwolke bei der Erzeugung der Dreiecksvermaschung) bestimmt.

Mehrbildmessung

Ein Objektpunkt wird in zwei oder mehr Bildern gemessen: Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt neben der Genauigkeit der Bildorientierungen von der Qualität der Messungen und dem/den Schnittwinkel/n zwischen den Messstrahlen ab. Im Fall von zwei Bildern wird die optimale Geometrie bei einem rechtwinkligen Schnitt der beiden Messstrahlen erreicht. Bei der Mehrbildmessung gibt es wiederum mehrere Möglichkeiten:

Synchrone Stereobildmessung: Wie in Kapitel **Begriffe der Photogrammetrie** beschrieben, ist die gleichzeitige, stereoskopische Messung der klassische Ansatz zur 3D-Rekonstruktion einer Szene in der Photogrammetrie. Dieses Verfahren ist allerdings nur dann einsetzbar, wenn die Bilder ähnliche Blickrichtungen haben und die Bildbasis (der Positionsunterschied zwischen den Aufnahmepunkten der beiden Bilder) parallel zur Achse des Augenpaares des menschlichen Betrachters gedreht werden kann. In diesem Fall kann das Gehirn des (erfahrenen und gleichsichtigen) Betrachters die beiden Bilder zu einem 3D-Abbild der Szene zusammensetzen.

Für die Stereobildmessung innerhalb eines Flugstreifens eignen sich folglich sowohl die Nadirbilder als auch die um die Längsachse des Flugzeugs geneigten Schrägbilder (links- bzw. rechtsseitige Flügelbilder). Bei den um die Flügelachse geneigten Schrägbildern (vorwärts, rückwärts) können Stereobildpaare aus benachbarten Flugstreifen gebildet werden (siehe Abb. 10).

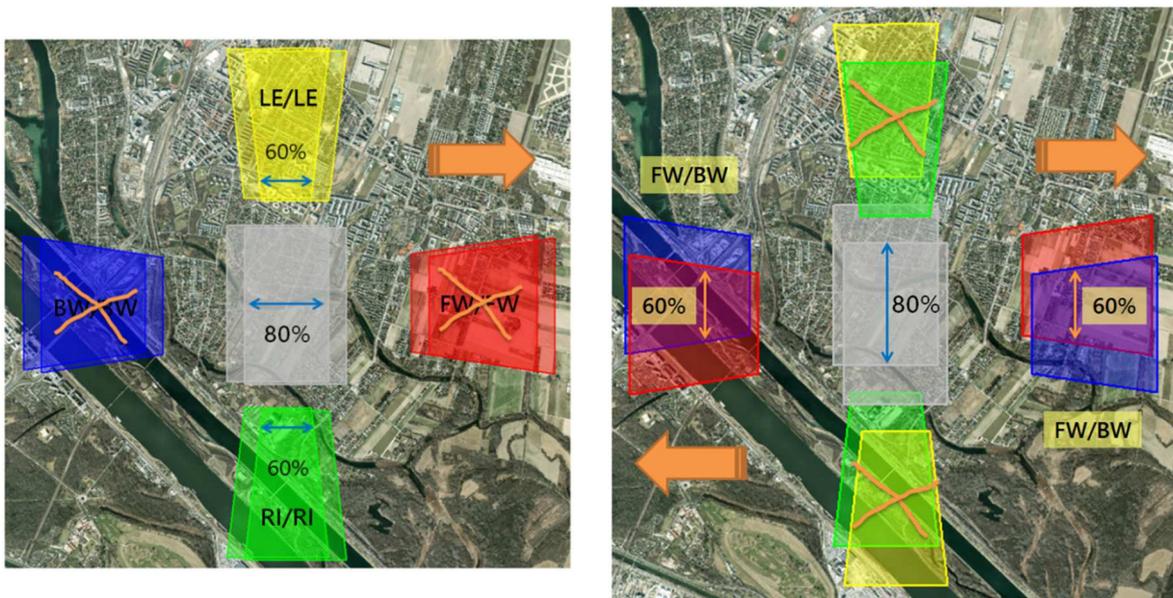


Abb. 10: Konfiguration möglicher Stereobildpaare bei einer Nadir-Oblique-Kamera innerhalb eines Flugstreifens (links) bzw. zwischen zwei Flugstreifen (rechts), orange Pfeile = Flugrichtung.

Abhängig von der Kamerageometrie (Objektivöffnungswinkel) ergibt sich bei der Stereomessung mit 60 % Längsüberlappung ein typischer Schnittwinkel zwischen den Messstrahlen von 15° (Normalwinkel-Objektiv) bzw. <math><10^\circ</math> (Tele-Objektiv) – unabhängig von der Position des Objektpunkts im stereoskopisch abgedeckten Bereich. Dieser relativ kleine Schnittwinkel führt zu einer zweifach schlechteren Genauigkeit des Messresultats in der Blickrichtung der Bilder (Tiefe). Während dies bei den Nadirbildern ausschließlich die Höhe betrifft, sind bei 45° geneigten Schrägbildern die Höhe und die horizontale Position gleichermaßen betroffen (vgl. Abb. 11 Mitte).

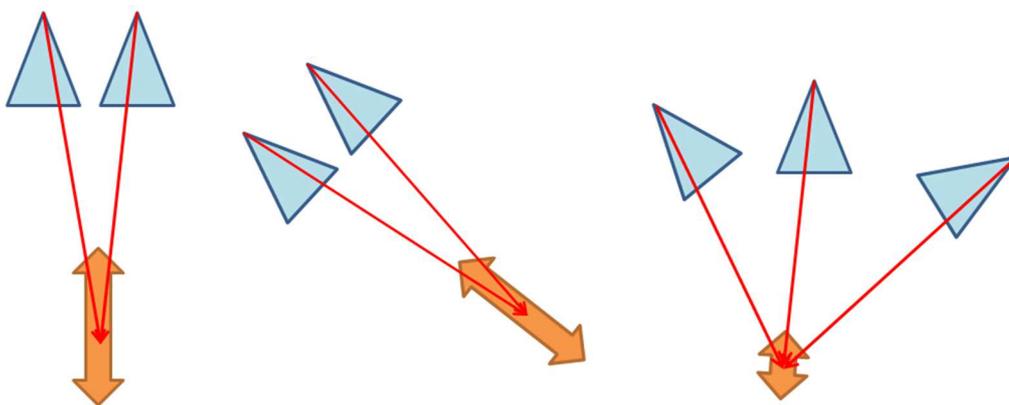


Abb. 11: Schlechtere Genauigkeit der Tiefe bei der Stereomessung Nadir (links) bzw. Oblique (Mitte), höhere Genauigkeit bei der Mehrbildmessung mit variablen Blickrichtungen (rechts).

Asynchrone Mehrbildmessung (oder Multibildmessung): Hierbei handelt es sich um das wichtigste Messverfahren in MEASUREE. Die 3D-Rekonstruktion erfolgt durch sequentielles Messen desselben Objektpunkts in zwei oder mehr Bildern, wobei hier beliebige Blickrichtungen miteinander kombiniert werden können (es muss kein Stereoeffekt eintreten). Die Bilder müssen sich lediglich überlappen (ohne Mindestmaß der Überdeckung). Dadurch kommt der Schnittwinkel der Messstrahlen oftmals deutlich näher an den Optimalfall von 90° heran (vgl. Abb. 11 rechts). Wichtig ist dabei jedoch, dass tatsächlich derselbe Objektpunkt gemessen wird, was aufgrund der mitunter stark unterschiedlichen Perspektiven nicht immer „trivial“ ist.

Das Messen desselben Objektpunkts (Identpunkt) in zwei Bildern führt bereits zu einer „Überbestimmung“ bzw. „Redundanz“. Dies bedeutet, dass mehr Messgrößen vorhanden sind als für die eindeutige Bestimmung der Position des Objektpunkts benötigt werden. Ein eindeutiger 3D-Punkt würde analog zum Monoplot durch den Verschnitt eines einzelnen Messstrahls mit einer allgemein im Raum liegenden Ebene entstehen. In je mehr Bildern der Objektpunkt gemessen wird, desto höher wird die Redundanz und desto besser die Genauigkeit sowie die Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung.

MEASUREE **erlaubt die Messung eines Identpunkts in einer unbeschränkten Anzahl von Bildern**, wobei die Überbestimmung durch eine Ausgleichung nach kleinsten Quadraten aufgelöst wird. Dadurch ergibt sich aus statistischer Sicht das optimale Resultat für die Position des Objektpunkts. Die ausgeglichene Position wird in sämtliche an der Positionsbestimmung beteiligte Bilder zurückabgebildet und jeweils mit der Messung verglichen.

Die Differenz zwischen Berechnung und Messung wird als **Reprojektionsfehler** bezeichnet und ist ein sehr verlässliches Maß für die Qualität der Positionsbestimmung. Wenn es bei den Messungen zu größeren Widersprüchen kommt (was in der Regel an Punktverwechslungen bei ähnlich aussehenden Objekten liegt), so unterstützt MEASUREE die Benutzer*innen durch eine entsprechende Markierung (Fehlerkreis) in den Bildern. Die Messung kann in der Folge so lange interaktiv verbessert werden, bis der Widerspruch innerhalb einer konfigurierbaren Fehlertoleranz liegt.



Abb. 12 Anzeige eines Messwiderspruchs anhand eines Fehlerkreises in MEASUREE

Tab. 1 fasst die Vor- und Nachteile der Messmethoden anhand von (Schräg-)Luftbildern zusammen. Die Farbgebung der Tabellenzellen orientiert sich an einer Ampel: grün = günstig, gelb = mittel, rot = ungünstig. Aus dieser Zusammenfassung geht unmittelbar hervor, dass MEASUREE für viele Anwendungen eine ideale Lösung darstellt.

Verfahren	Monoplot (z.B. MEASUREE)	Synchrone Stereomessung (3D-Auswertestation)	Asynchrone Mehrstrahlmessung (MEASUREE)
Messvorgang	Sehr schnell, aber nur 2D (monoskopisch)	Sehr schnell und 3D (stereoskopisch)	Etwas langsamer und 3D (sequentiell)
3D-Genauigkeit	Gering bis mäßig (vom Modell abhängig)	Gut (Tiefe schlechter bestimmt)	Gut bis sehr gut (optimale Schnitt-Geometrie möglich)
Zuverlässigkeit	Gering bis mäßig (vom Modell abhängig)	Mäßig (optische Täuschungen z.B. aufgrund von Schatten möglich)	Sehr hoch (Kontrolle durch andere Perspektiven)
Verfügbarkeit	Überall (nur Mono-Abdeckung erforderlich)	Verringert (nur bei Stereo-Abdeckung aus ähnlichen Perspektiven)	(Nahezu) überall, da beliebige Blickrichtungen miteinander kombiniert werden können
Anforderungen an menschliche Operateure	Gering hinsichtlich des Messvorgangs aber hoch hinsichtlich der Einschätzung des Ergebnisses	Aufsetzen der Messmarke erfordert gleichsichtige Augen und viel Übung und Erfahrung	Gering, aber räumliches Vorstellungsvermögen beim Betrachten eines Objekts aus unterschiedlichen Perspektiven
Anforderungen an Hard- und Software	Gering (Standard-Rechner)	Hoch (spezielle meist hochpreisige Hardware für 3D-Visualisierung und 3D-Messung erforderlich)	Gering (Standard-Rechner)

Tab. 1: Vor- und Nachteile der Messmethoden mit Luftbildern (Ampel-Farbgebung nach Eigenschaften)

Funktionsübersicht MEASUREE

MEASUREE ist eine **Web-Applikation** für das Arbeiten mit Luftbildern und durch seine umfangreichen Funktionen und **intuitive Benutzeroberfläche** das ideale Werkzeug für Vermessungstechniker*innen und andere Anwender*innen.

Die Applikation liegt in zwei unterschiedlichen Varianten vor:

MEASUREE CLASSIC ist auf die Verwendung von Bildern aus Mehrkopf- oder Multiperspektiven-Kameras, **MEASUREE VERSATILE** aus Einzelkameras (zB. aus Dronenflügen) ausgerichtet.

Funktionen

Generell

- **Keine Installation** auf den Rechnern der Benutzer*innen - ein moderner Web-Browser genügt
- **Session Persistenz:** Fortsetzung der Arbeit auch nach Neustart von MEASUREE, des Browser oder gar Rechners
- Unterstützung gewohnter Funktionen wie Undo/Redo (mit gesamtem Arbeitsverlauf der Session), Drag & Drop, Tastaturkürzeln und Kontextmenüs
- Verfügbar in verschiedenen Sprachen (derzeit Deutsch, Englisch und Italienisch, jederzeit um neue Sprachen erweiterbar)

Luftbilder

- Nutzung für **unterschiedliche Flugplattformen** (Flugzeug, Drohne) und Sensorsysteme (Nadir, Oblique und kombiniert; Thermal-Infrarot, Hyperspektral)
- Unterstützung digitaler und (gescannter) analoger Luftbilder (historische Befliegungen)
- Synchronisation unterschiedlicher Befliegungsdatensätze (z.B. verschiedene Flugjahre) zur Visualisierung von Terrain- und Bauveränderungen

Viewer

- **Anpassbarkeit** des Multi-View-Layouts (Vergrößern/Verkleinern, Duplizieren, Splitten) inkl.
- Arbeiten mit **mehreren Monitoren:** einzelne Views (Fenster) von MEASUREE können auf unterschiedliche Monitore verteilt werden

- Erstellen von **Bildschirmfotos** (Screenshots) für die Erzeugung von Dokumenten (z.B. Gutachten)
- Anpassbarkeit der **Bilddarstellung** (Helligkeit, Kontrast, Sättigung und Farbton)

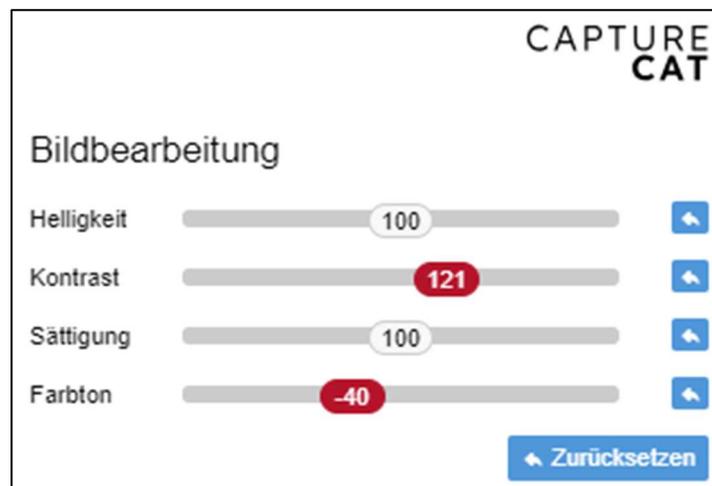


Abb. 13: Anpassungsmöglichkeiten der Bilddarstellung zur Erhöhung der Erkennbarkeit von Objekten in Luftbildern

- Positionierungen auf Fadenkreuze oder bekannte Positionen (2D oder 3D)
- Einblendung von Bildauslösepunkten und Bildabdeckungen („Malteserkreuze“)

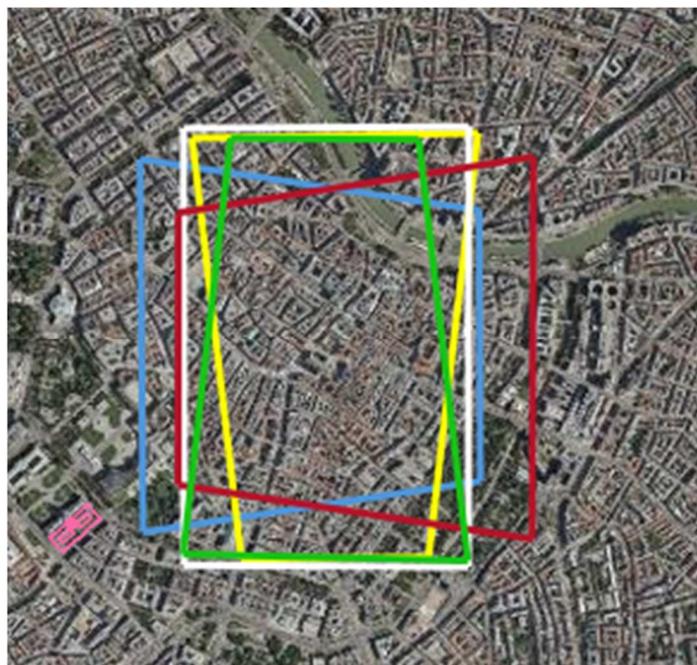


Abb. 14: Bildabdeckung einer Region durch unterschiedliche Kameras (farblich differenziert dargestellt)

Asynchrone Mehrbildmessung

MEASUREE verfügt über ein **genauestes Messverfahren** durch Verschnitt der Messstrahlen aus zwei oder mehr gänzlich unterschiedlichen Perspektiven (Bildern). Dadurch ist keine zeit- und kostenintensive Berechnung eines 3DMesh erforderlich) und bewirkt eine extrem kurze „Time to first Measurement“.



Abb. 15: Vermessung des Kunsthistorischen Museums in Wien mit MEASUREE

- Anzeige von Messunsicherheiten durch Repro-Fehler und Schnittwinkel zur **Qualitätssicherung**
- Anzeige des Sichtstrahls eines Monoplots zur schnellen 3D-Vermessung

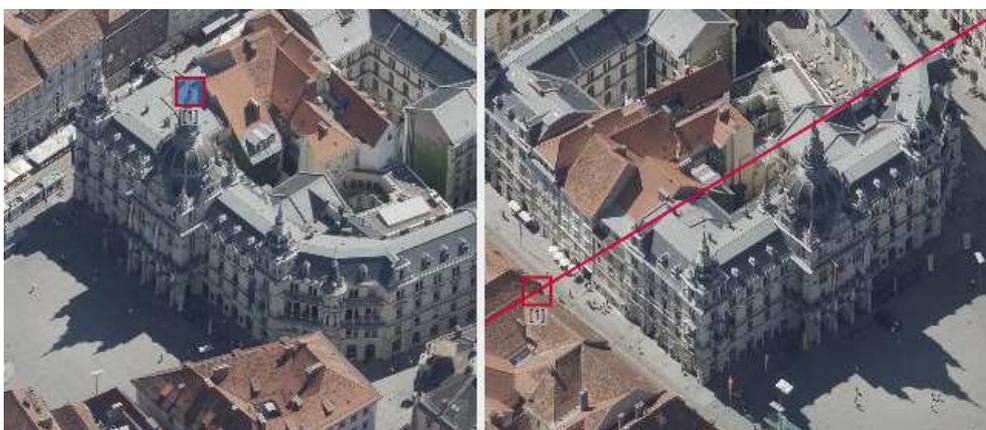


Abb. 16: Beispiel eines Sichtstrahls (rechtes Bild) des (im linken Bild angelegten) Monoplots [1]

- Automatisches Ermitteln von Streckenlängen und Entfernungen (3D)

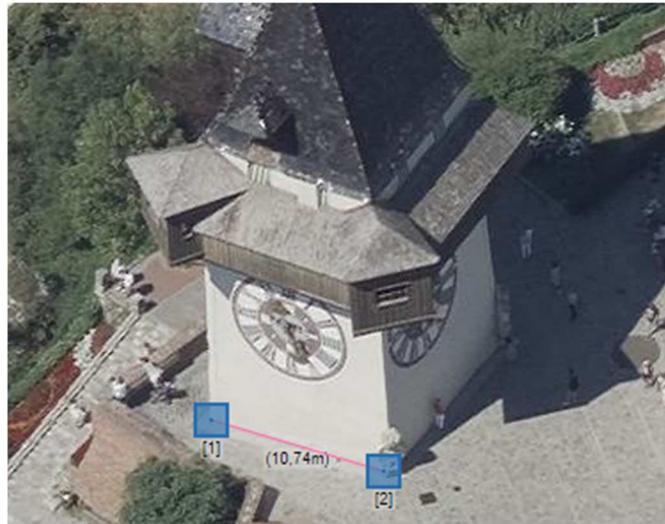


Abb. 17: Die Streckenlänge zwischen Punkt [1] und Punkt [2] wird automatisch ermittelt und sofort angezeigt

- Filterung von Messpunkten nach Datenqualität

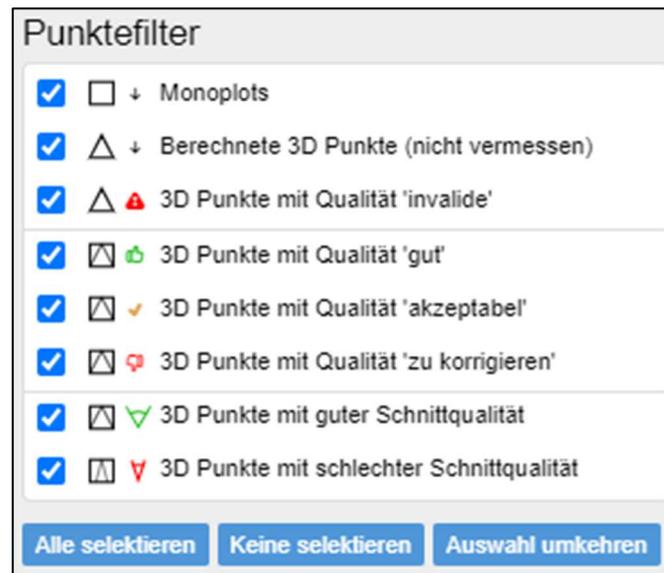


Abb. 18: Punktefilter mit Darstellung von Punktypen (Monoplots, 3D-Punkte) und deren qualitativer Bewertung

- Hilfslinien im dreidimensionalen Raum ermöglichen die Rekonstruktion von verdeckten Objektpunkten.

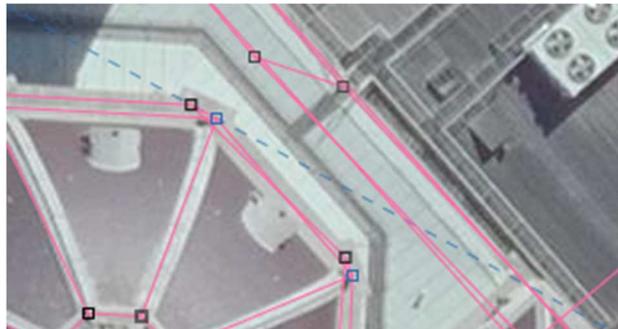


Abb. 19: Hilfslinien (blau strichliert) helfen bei der Konstruktion von Objekten in schwer einsehbaren Bildbereichen

Hierarchisches Datenmodell

Das Datenmodell von MEASUREE ermöglicht die Organisation von vermessenen Objekten innerhalb von (verschachtelbaren) Ebenen (zB. Straßen / Häuser / Bauteile) zur Verbesserung der Übersichtlichkeit bei großen Datenmengen.

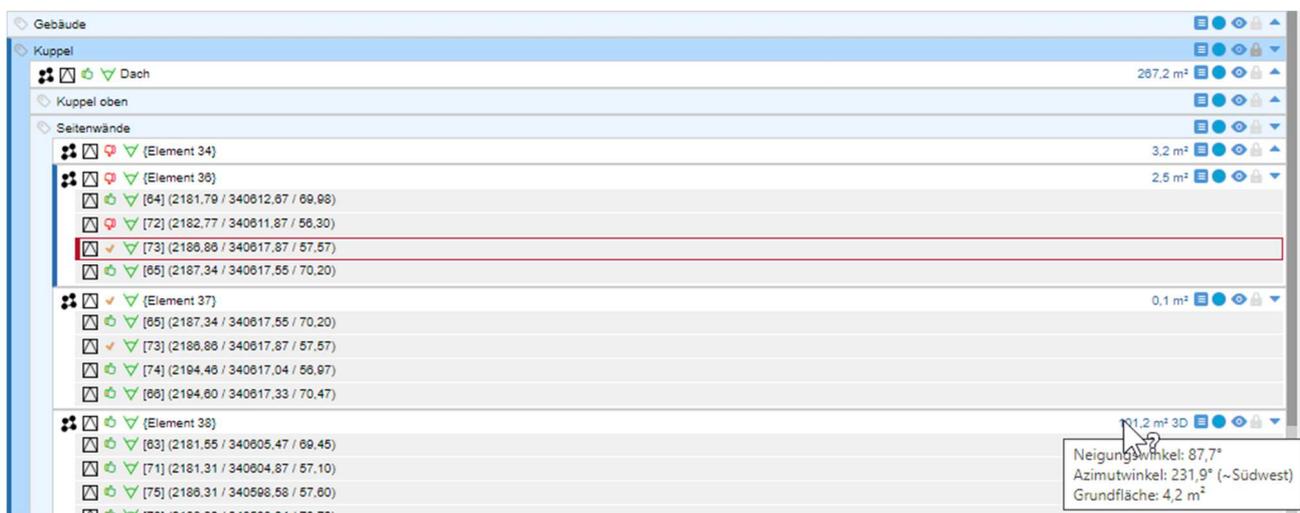


Abb. 20: Beispiel der hierarchischen Datenstrukturierung mittels Ebenen und Objekten

- Konfigurierbare **Ebenen-Prototypen** zur semantischen Auszeichnung von Daten
- Unterstützte **Objektarten**: Punkt, Linie, Polylinie, Polygon
- Automatisches Ermitteln von **Flächenmaßen** (2D) mit Grundfläche, Neigungswinkel und Azimutwinkel (3D)

- Auf-/Zuklappen von Ebenen und Objekten zur Verbesserung der Übersichtlichkeit bei großen Datenmengen
- Veränderung von Farbe und Sichtbarkeit je Objekt oder Ebene
- Sperren von korrekten Punkten und Objekten zur Vermeidung irrtümlicher Modifikation
- Möglichkeit zur Vergabe frei definierbarer Attribute für Messpunkte (zB. Qualitätskriterien)
- Import/Export einzelner Objekte oder Ebenen

Schnittstellen und Erweiterbarkeit

- Import/Export von Daten in industrieüblichen Dateiformaten (Shape, GeoJSON, DXF)
- Möglichkeit zur Einrichtung individueller Schnittstellen zu Fremdapplikationen (z.B. Aufruf aus Web-GIS-Anwendungen wie z.B. ESRI WebOffice) oder Datenbanken
- Anpassbarkeit und Erweiterbarkeit von Benutzeroberfläche und Funktionalitäten an individuelle Anforderungen

Verlauf

- Die Arbeitshistorie wird Schritt für Schritt dokumentiert
- Leistungsfähige Undo- bzw. Redo-Funktion
- Historie der Ansichts-Positionierungen in den Luftbildern

Benötigte Eingangsdaten

- Bilder mit Kachelung (512 x 512 Pixel) und in mehreren Auflösungsstufen (Bildpyramiden): Diese Daten werden aus den Originalbildern (TIFF) anhand eines Batch-Prozesses semiautomatisch generiert. Dabei werden auch die Bilder bedarfsweise so gedreht, dass der Himmel stets in der oberen Bildhälfte zu liegen kommt (Sky-up, „natürliche“ Betrachtungsweise).
- Äußere Orientierungen sämtlicher Bilder: Diese Datei legt auch das Koordinatensystem fest.
- Kalibrierungsdaten des Kamerasystems: Pro Teilkamera werden die Brennweite, die Koordination des Bildhauptpunkts (PPA), die physikalische Pixelgröße und die Anzahl der Pixel in Längs- und Querrichtung benötigt.
- Orthophoto-Mosaik des Interessensgebiets mit Kachelung (512 x 512 Pixel) und in mehreren Auflösungsstufen (Bildpyramiden): Das Orthophoto-Mosaik bildet die Basisdaten des Übersichtsbilds („Navigator“).
- DGM des Interessensgebiets (Rasterweite nach Bedarf)
- Optional: DOM des Interessensgebiets (Rasterweite nach Bedarf)

Web-Server

MEASUREE benötigt einen Web-Server, der die Applikation für den Aufruf im Web-Browser ermöglicht.

- Unterstützung üblicher Web-Server (Microsoft IIS, Apache, etc.).
- Für den Betrieb von MEASUREE wird keine Datenbank benötigt.
- Applikation und/oder Bilddaten können auf Kunden-eigenen Servern abgelegt sein. Alternativ bietet AVT auch eigene Hosting-Services an.

Aufruf von MEASUREE

MEASUREE kann im Web-Browser mit (optionalen) Parametern aufgerufen werden, um

- MEASUREE in der gewünschten **Sprachversion** zu starten
- MEASUREE automatisch auf eine **gewünschte Position** (mittels Angabe von Ost- und Nord-Koordinate) **zu zentrieren** (dabei wird gleichzeitig ein Fadenkreuz angelegt). Dies kann beispielsweise durch eine vorangegangene Suche in einem aufrufenden System (z.B. WebOffice) erfolgen (postalische Adresse, Grundstücksnummer, Point of Interest (POI) oder Koordinatenpaar).

Einstieg in MEASUREE und Beispielbilder

Während des Startvorgangs wird ein konfigurierbares Startbild („Splash Screen“) mit einem Fortschrittsbalken angezeigt, der das Laden und Prozessieren der verschiedenen Eingangsdatensätze (z.B. äußere Orientierungen, DGM) anzeigt (Abb. 21).



Abb. 21: Startbildschirm Graz 2022 mit Ladevorgang und Fortschrittsbalken

Danach wird der sog. **Navigator** (üblicherweise ein Orthophoto) angezeigt:

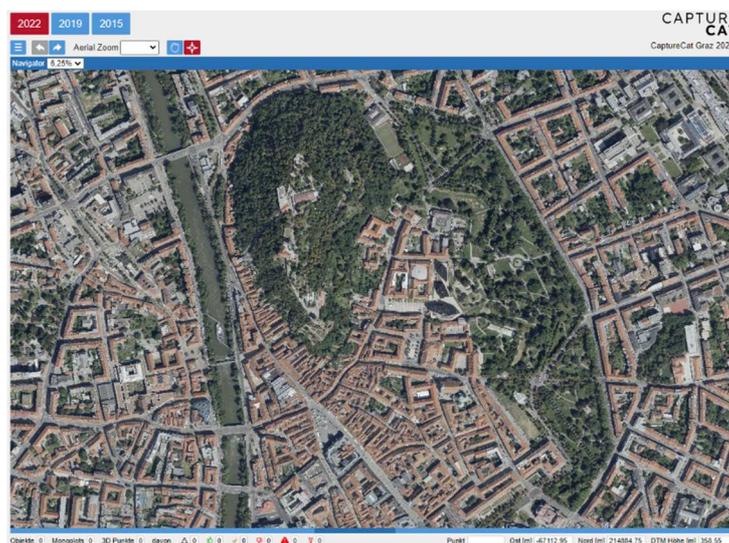


Abb. 22: Navigator-Ansicht mit Zentrierungswerkzeug (Graz 2022)

Standard-Ansicht

Im Navigator kann man durch Auswahl eines beliebigen Bildpunktes in den Standardmodus (**Standard-Ansicht**) wechseln, wo Luftbilder aus allen verfügbaren Blickrichtungen gleichzeitig dargestellt werden (vgl. Abb. 23).

Die oberen drei Teilfenster sowie die beiden äußeren Teilfenster der unteren Reihe der Standard-Ansicht werden unter dem Sammelbegriff „**Aerial Views**“ zusammengefasst. In diesen Fenstern können Bildmessungen erfolgen.

Der Navigator wird zusätzlich als sechstes Bild in der Mitte der unteren Reihe (in dunkelblauer Umrandung) angezeigt. Im rechten Bereich befinden sich von oben nach unten die drei Teilfenster „Ebenen und Objekte“, „Punkte und Messungen“ sowie „Verlauf“.

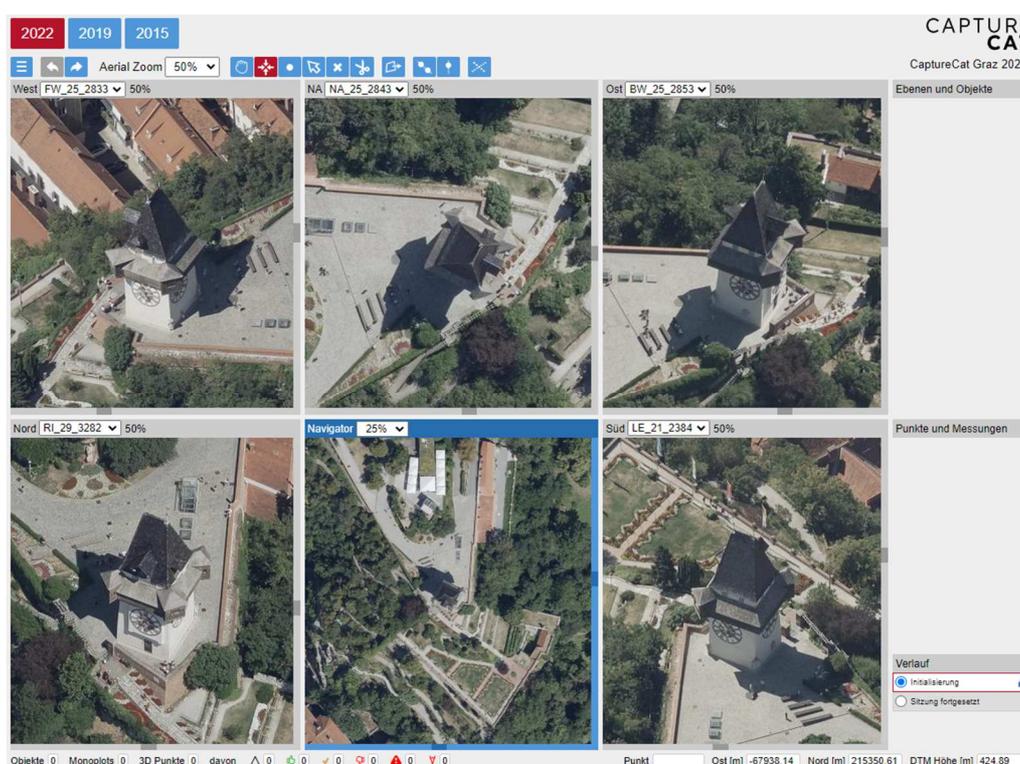


Abb. 23: Standard-Ansicht mit Aerial Views aus allen Blickrichtungen und Navigator (Graz 2022)

Die Größen der Teilfenster können jederzeit verändert werden. Zudem können Kopien der Teilfenster in ein neues Browser-Fenster übertragen und bildschirmfüllend dargestellt werden. Dies ist insbesondere für genaue Messaufgaben auf Computern mit mehr als einem Bildschirm sehr hilfreich.

Eine **Statusleiste** am unteren Fensterrand gibt jederzeit einen Überblick über bereits angelegte Objekte und deren Messpunkte:



Abb. 24: Linker Teil der Statusleiste mit Objekt-, Punkt- und Qualitätsstatistik

Bildauswahl in Aerial Views

MEASUREE ermittelt für jede Aerial View alle Bilder der entsprechenden Blickrichtung, die den zuvor gewählten Bildpunkt abdecken und zeigt sie in der Bildauswahlliste in der Titelleiste der View an.

Jenes Bild, das den Bildpunkt möglichst ideal (d.h. am nächsten zum Bildmittelpunkt) beinhaltet wird dabei vorausgewählt.

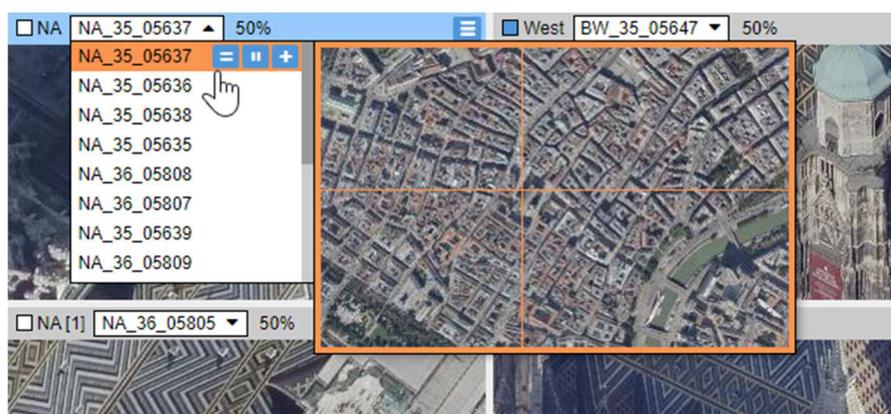


Abb. 25: Aerial View mit geöffneter Bildauswahlliste mit Bildvorschau

In dieser Bildauswahlliste kann nun auf ein anderes Bild gewechselt werden. Alternativ kann dabei die View (horizontal oder vertikal) gesplittet bzw. das alternative Bild in einem neuen Browser-Fenster geöffnet (und auf einen anderen Bildschirm geschoben) werden.

Navigator mit Bildauswahl und Freies Layout

Alternativ zur beschriebenen Standard-Ansicht ist es möglich, beliebig viele frei auswählbare Bilder aller Blickrichtungen in einem individuellen Layout (Freis Layout) anzuzeigen.

Dazu dient der **Navigator mit Bildauswahl**.

Bei Klick auf einen beliebigen Punkt im Navigator werden im rechten Fenster alle Bilder (gruppiert nach Blickrichtung) angezeigt, die diesen Punkt abdecken:

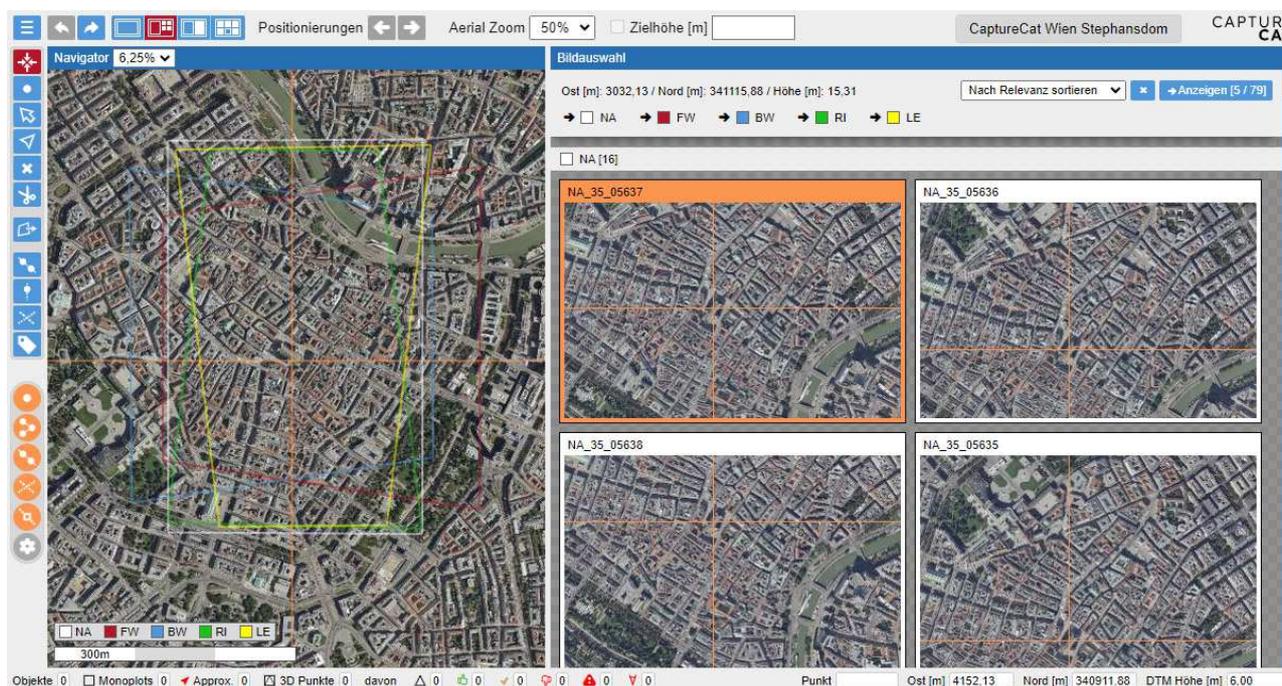


Abb. 26: Navigator mit Bildauswahl: Der zuvor gewählte Punkt wird im Navigator wie in den Bildern mit einem orangen Fadenkreuz markiert.

Nun können beliebig viele Bilder ausgewählt werden (sie werden dabei orange umrahmt). Das pro Blickrichtung jeweils beste Bild (d.h. jenes, in dem der gewählte Punkt möglichst nahe zum Bildmittelpunkt liegt) ist vorausgewählt.

Im Navigator werden die Footprints der gewählten Bilder in der entsprechenden Kamera zugewiesenen Farbe angezeigt.

Durch Klick auf den Button „Anzeigen“ wird das Freie Layout angezeigt:

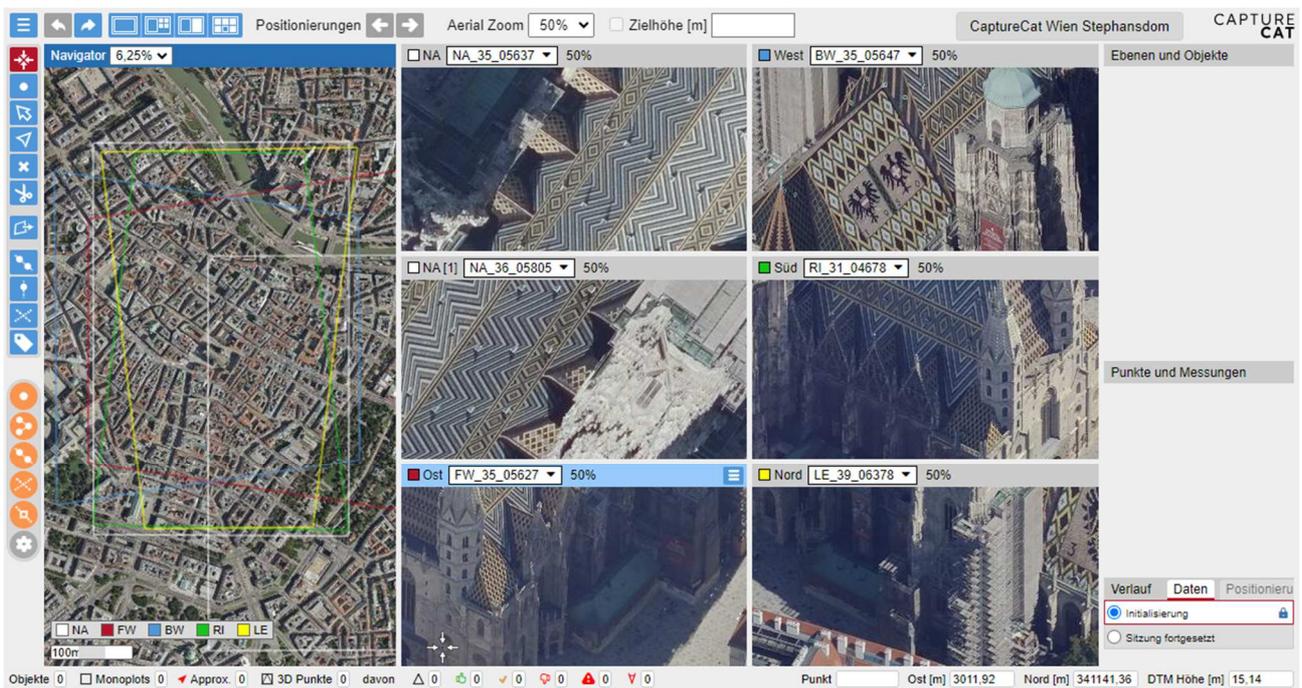


Abb. 27: Freies Layout mit den zuvor gewählten Bildern

Hinweis zu MEASUREE VERSATILE

Bei Arbeiten mit Bildern von Einzelkameras kommt wie bereits erwähnt **MEASUREE VERSATILE** zum Einsatz. Daher startet **MEASUREE** in diesem Fall nach dem Anzeigen des Splash Screens mit dem Navigator mit Bildauswahl. Die Standardansicht existiert hier nicht.

Beispielsbilder

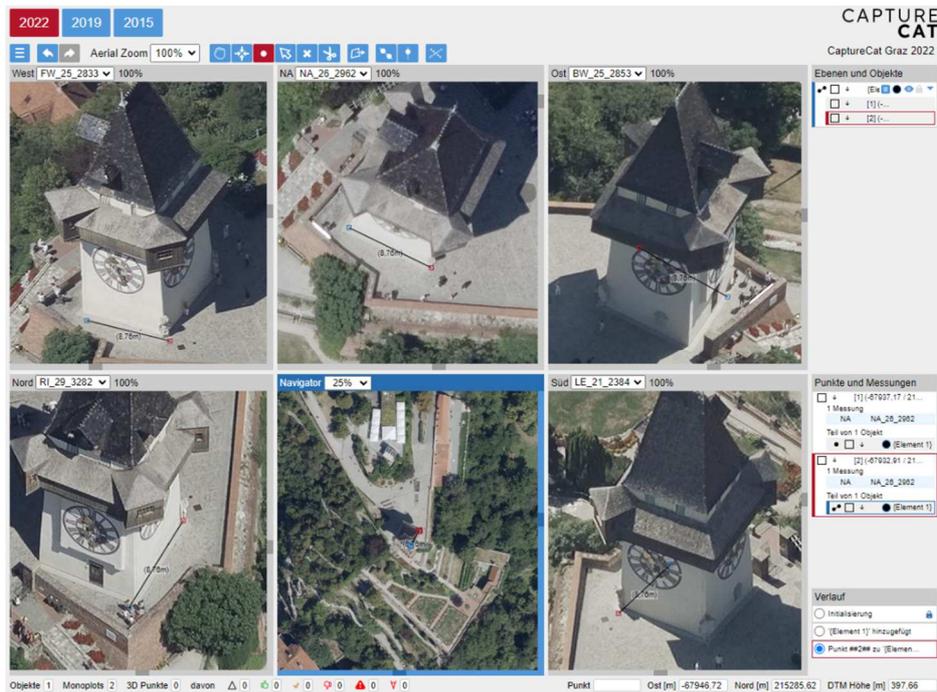


Abb. 28: DGM-Monoplot zweier Bodenpunkte mit Abstand zwischen den beiden Punkten (Graz 2022)

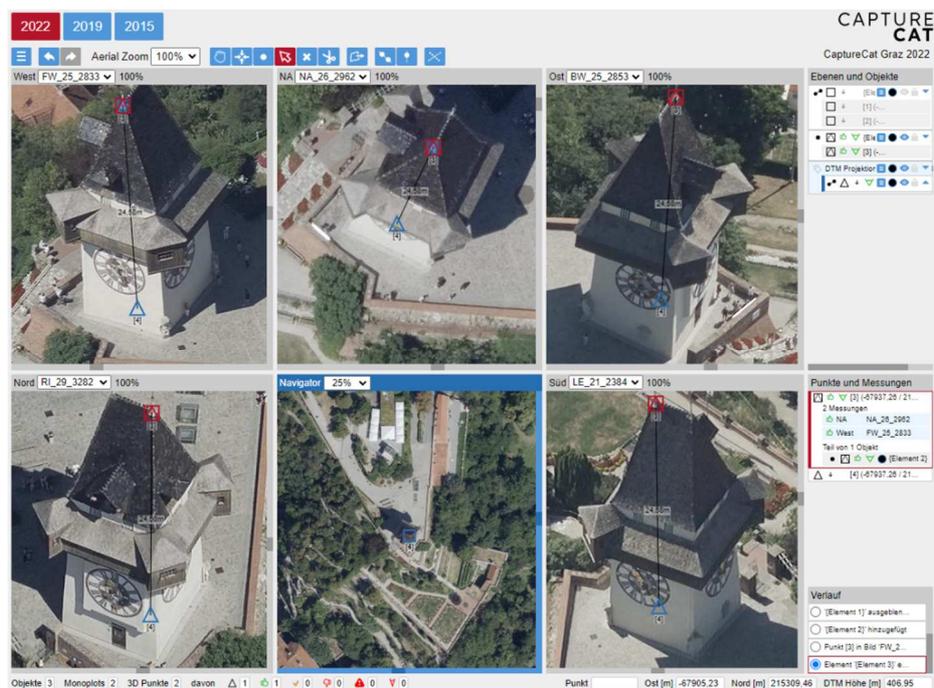


Abb. 29: 3D-Messpunkt mit Projektion auf das DGM zur Ableitung der Objekthöhe (Graz 2022)

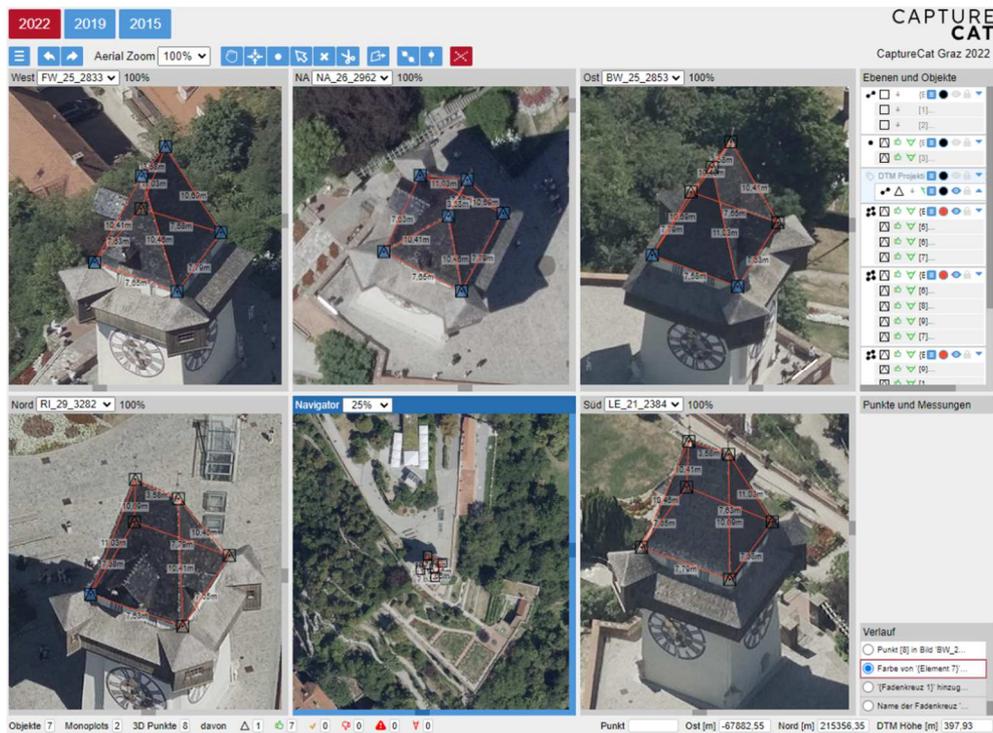


Abb. 30: 3D-Auswertung der Hauptdachflächen des Uhrturms (Graz 2022)

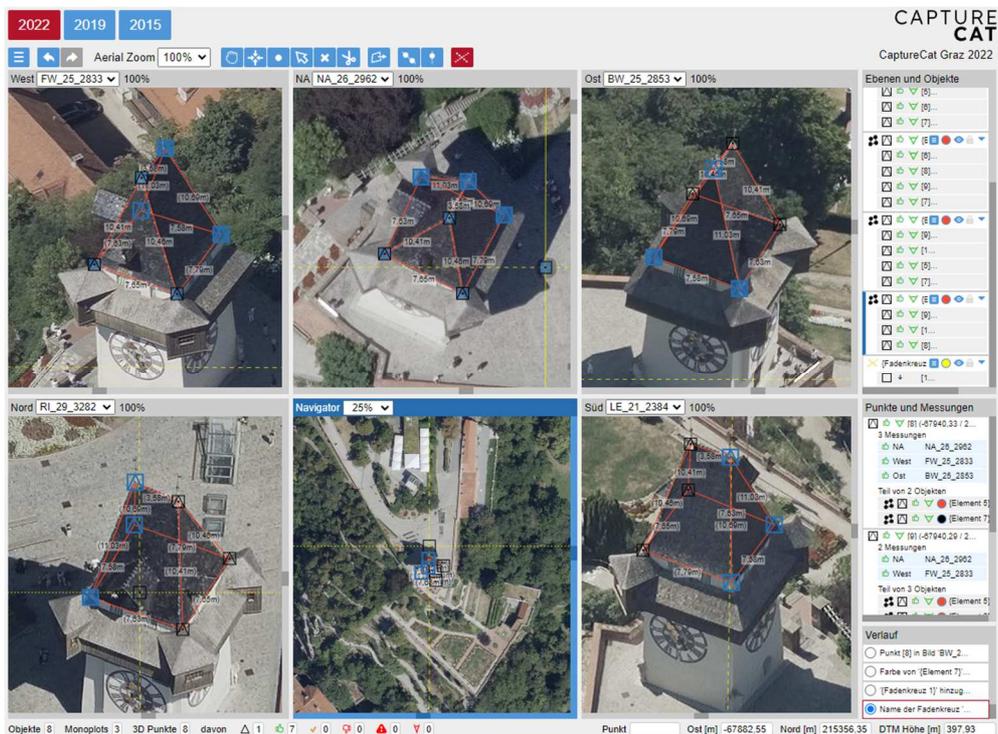


Abb. 31: Einfügen eines Fadenkreuzes zum Synchronisieren mehrerer Flüge (Graz 2022)

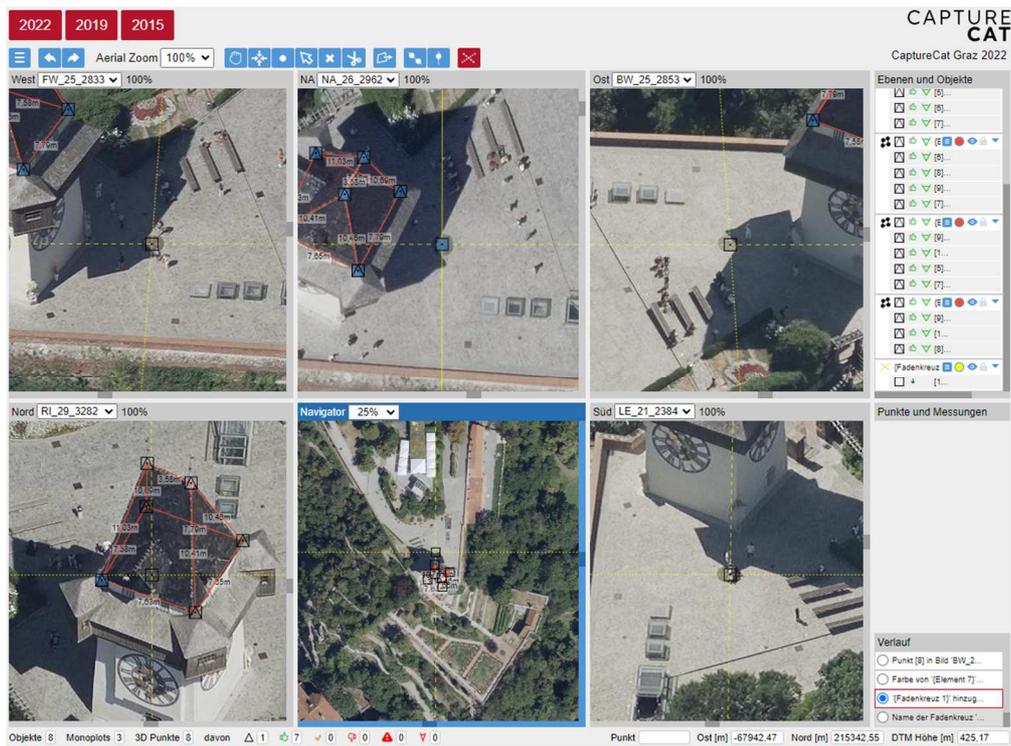


Abb. 32: Zentrierung der Aerial Views auf das Fadenkreuz (Graz 2022)

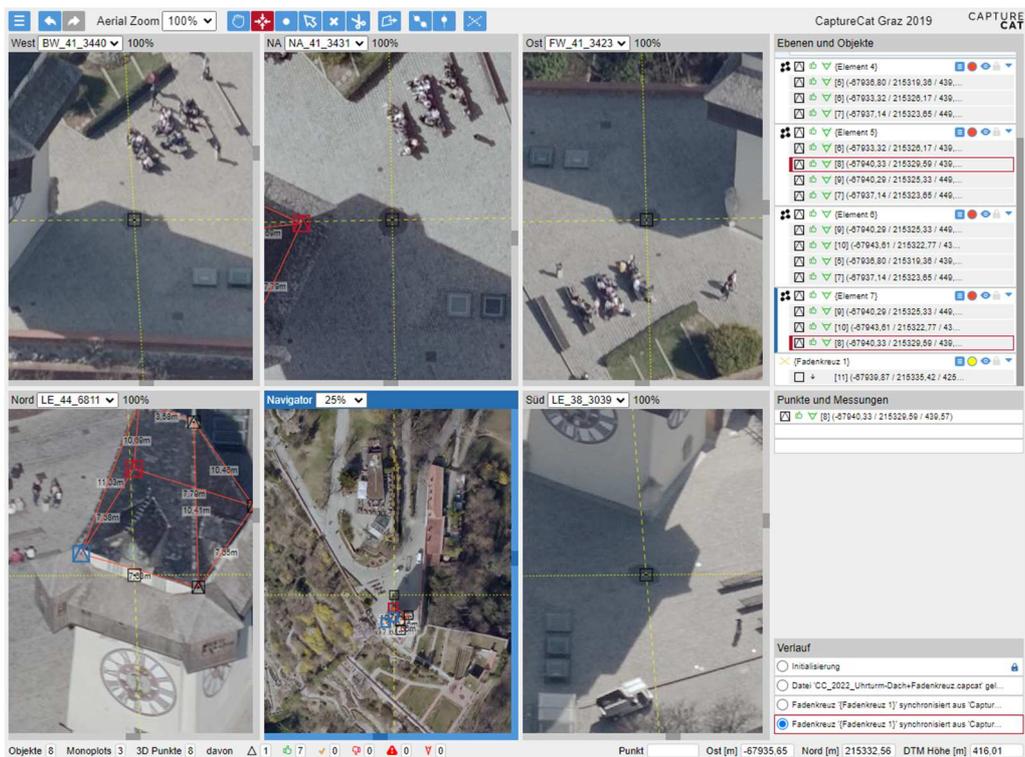


Abb. 33: Synchronisation des Flugs Graz 2019 auf das Fadenkreuz

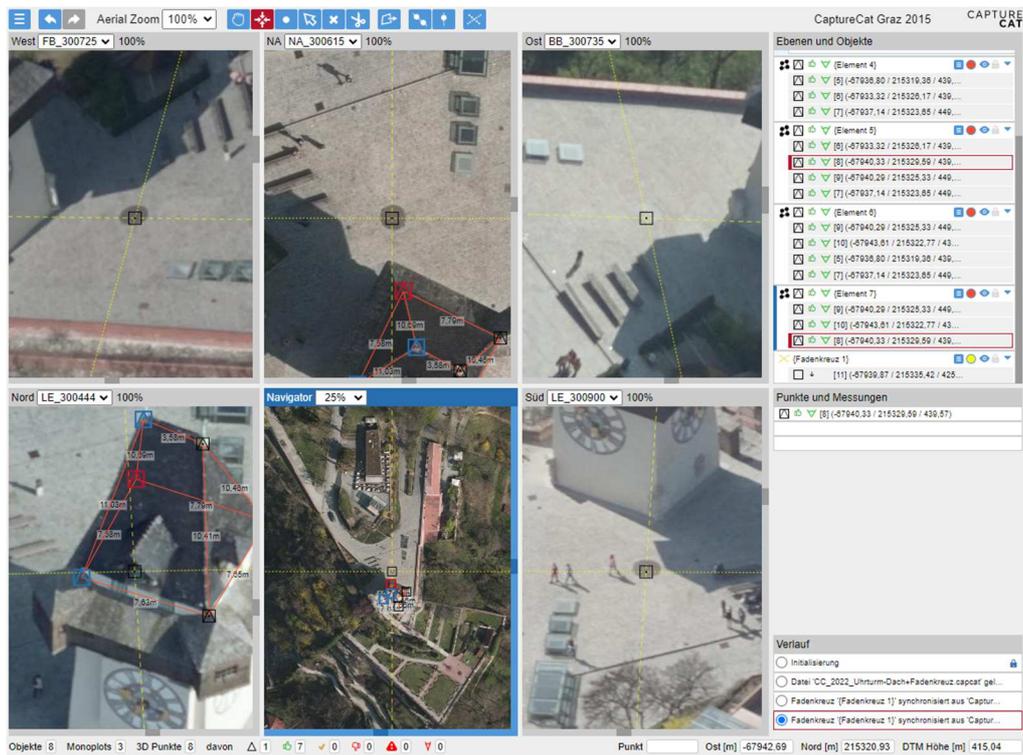


Abb. 34: Synchronisation des Flugs Graz 2015 auf das Fadenkreuz

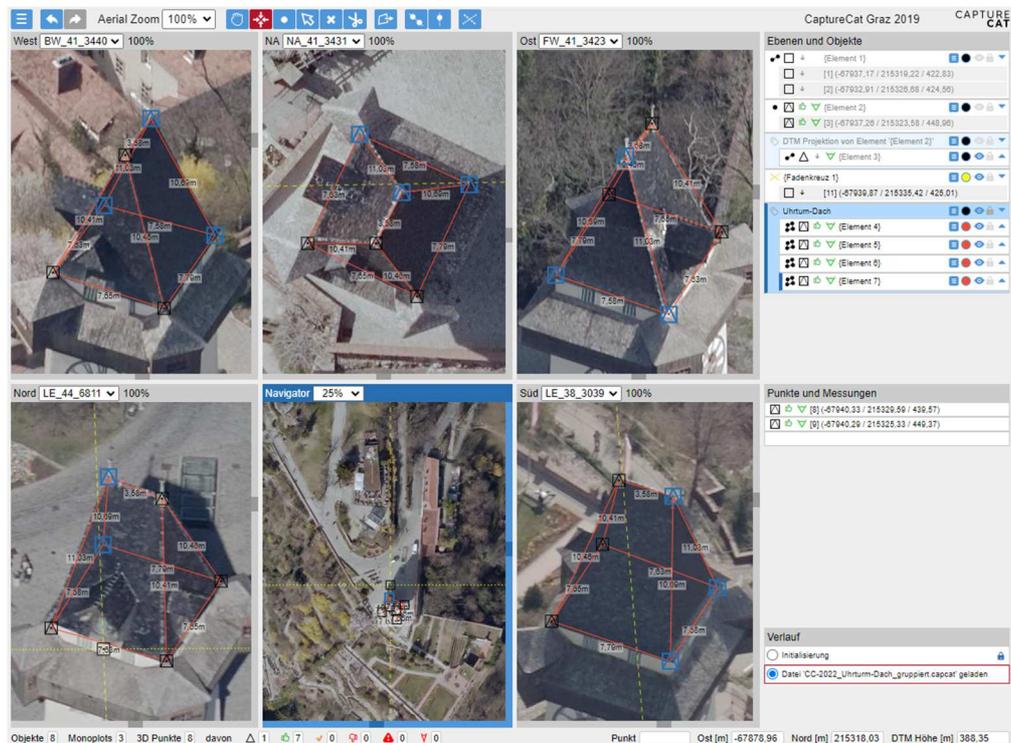


Abb. 35: Hauptdachflächen des Uhrturms von Graz 2022 importiert zum Flug 2019

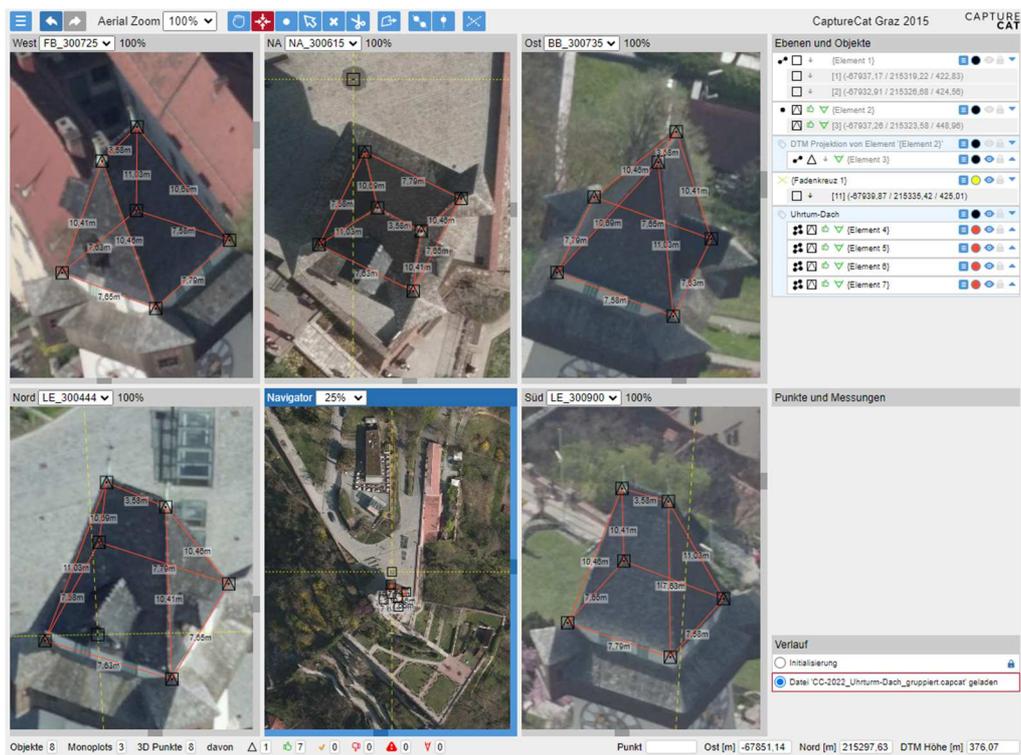


Abb. 36: Hauptdachflächen des Uhrturms von Graz 2022 importiert zum Flug 2015

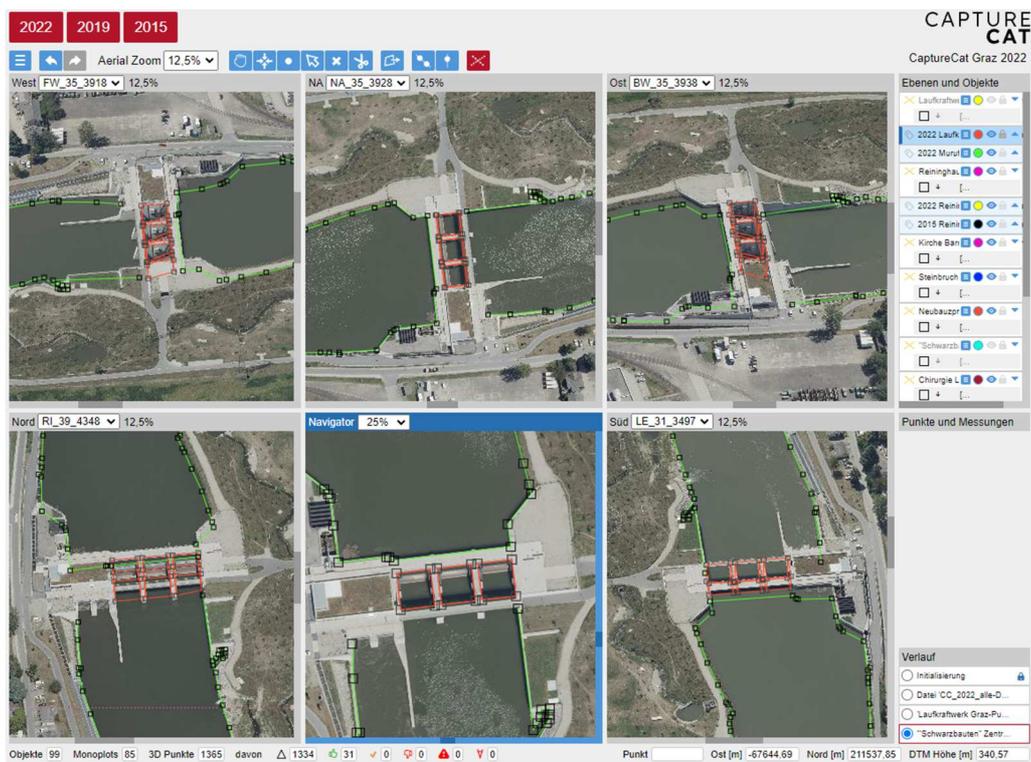


Abb. 37: Mur-Laufkraftwerk Graz-Puntigam nach der Fertigstellung (2022)

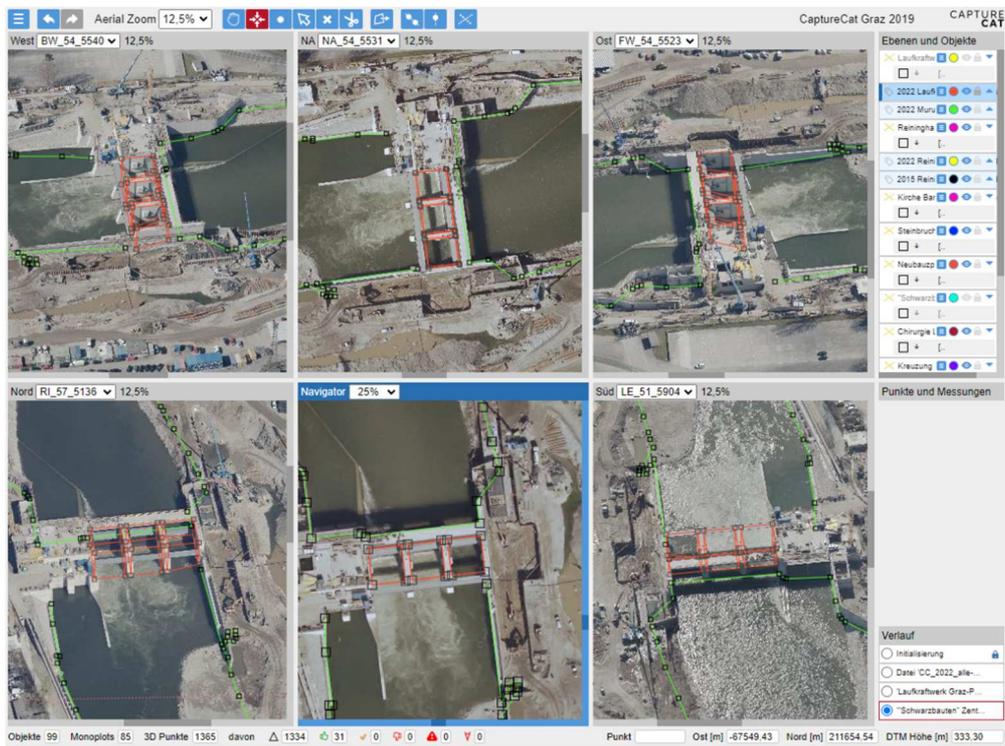


Abb. 38: Mur-Laufkraftwerk Graz-Puntigam während der Bauphase (2019)

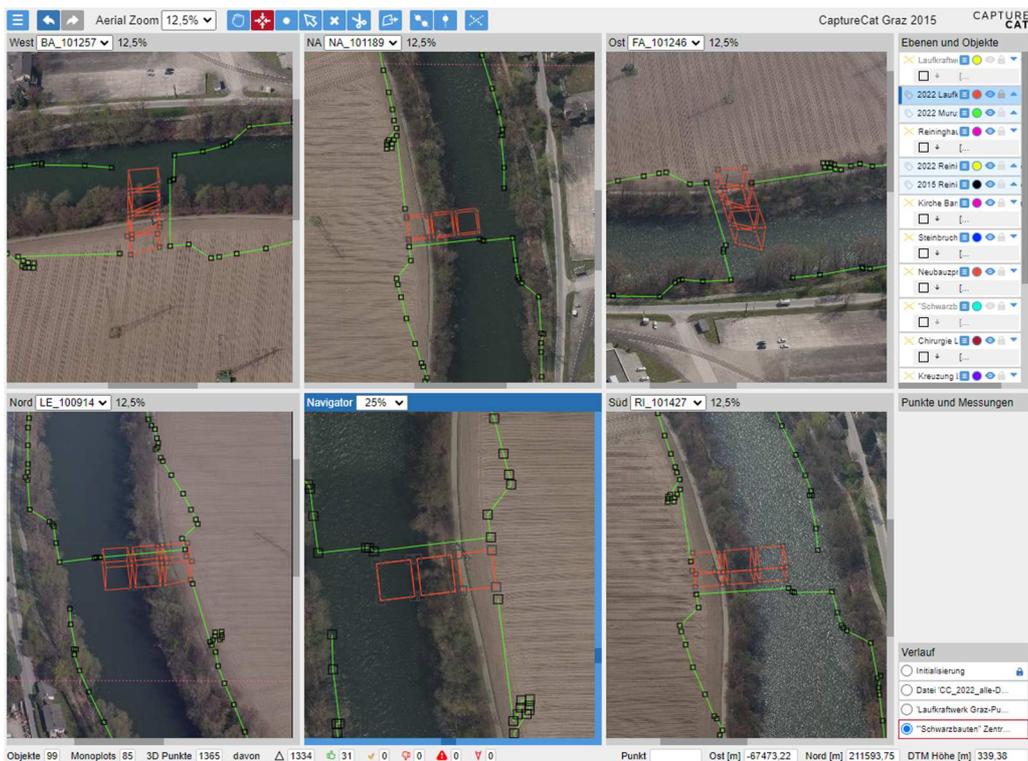


Abb. 39: Mur-Laufkraftwerk Graz-Puntigam vor Baubeginn (2015)

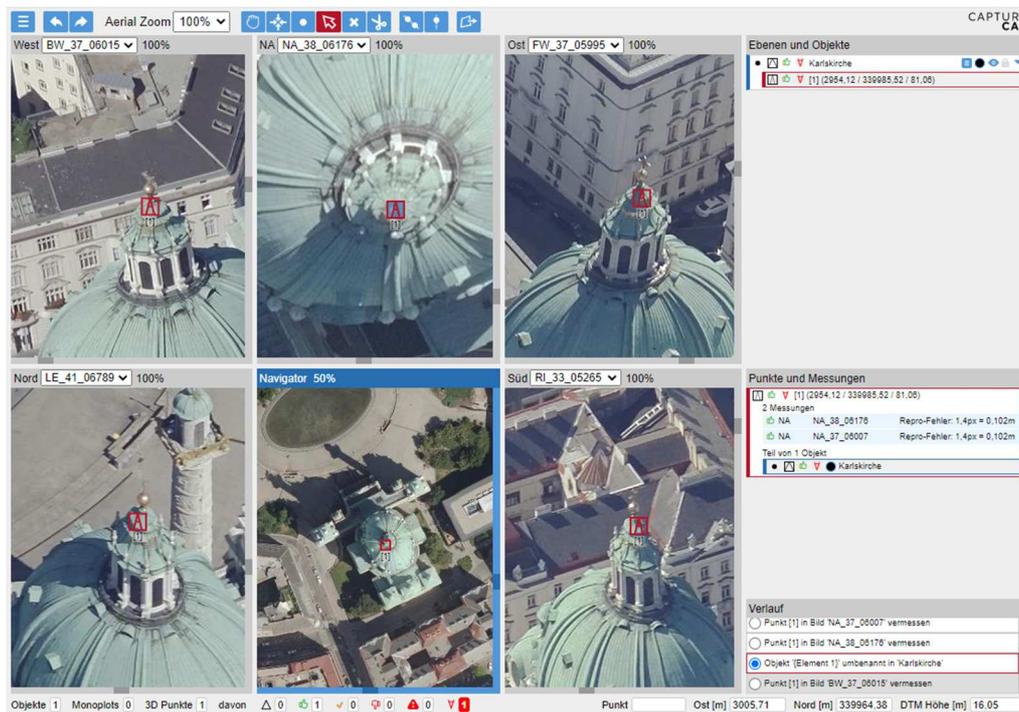


Abb. 40: Knauf der Hauptkuppel der Karlskirche Wien (2020) gemessen in zwei Nadirbildern mit zu kleinem Schnittwinkel (starker Höhenversatz wird in den Schrägbildern sichtbar)

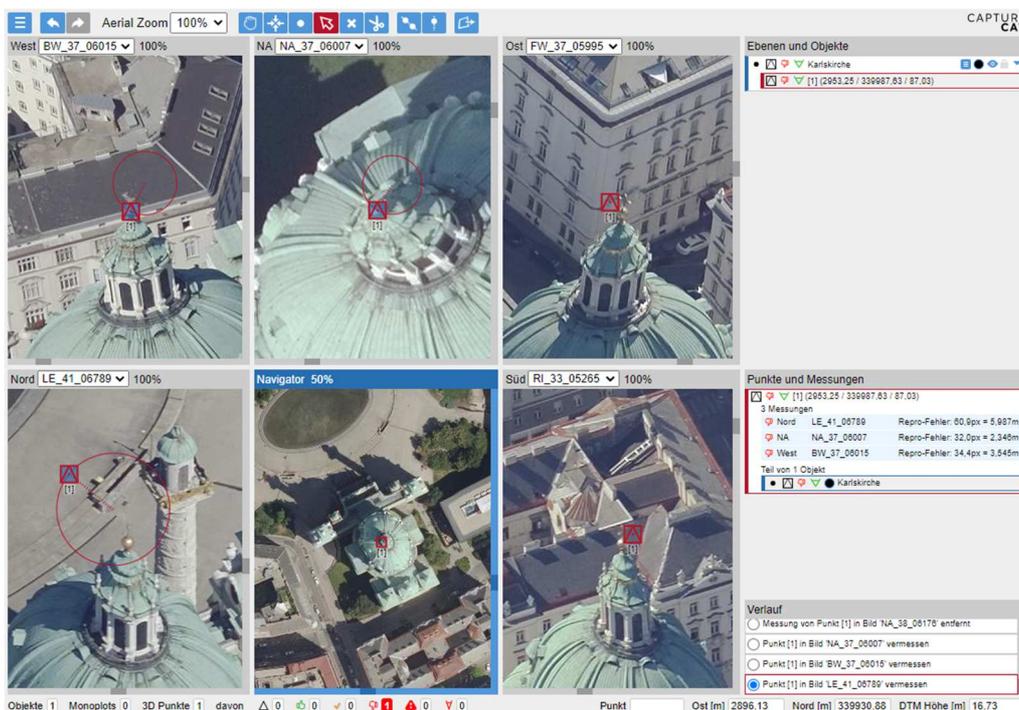


Abb. 41: Knauf der Hauptkuppel der Karlskirche Wien (2020) gemessen in einem Nadir- und zwei Schrägbildern mit einem groben Fehler im nach Norden blickenden Bild (größter Fehlerkreis)

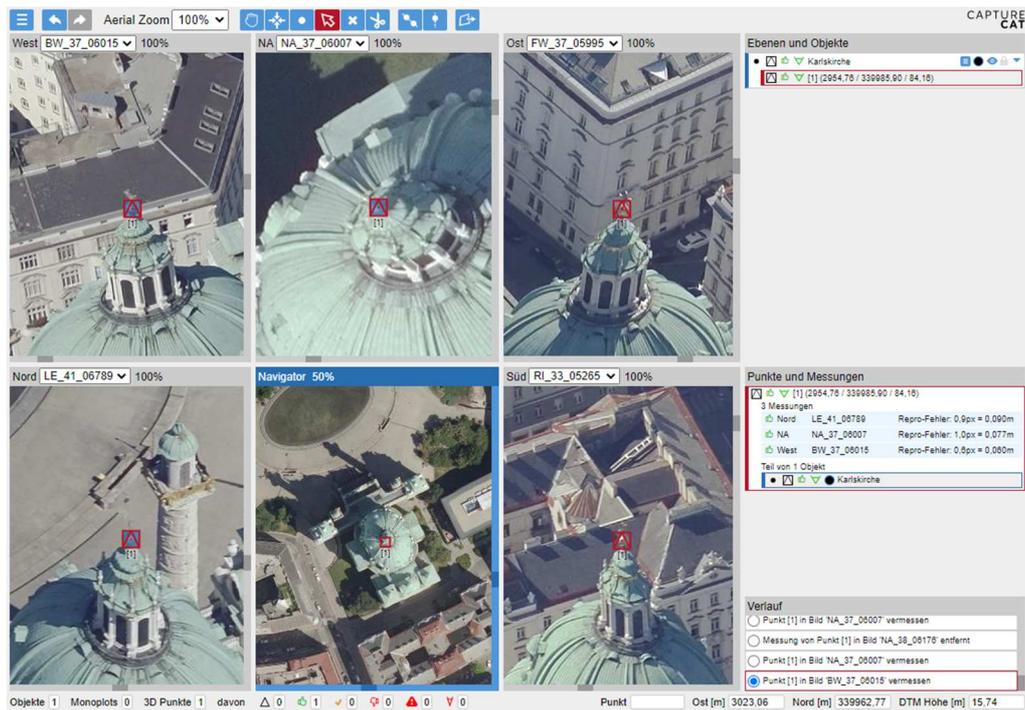


Abb. 42: Knauf der Hauptkuppel der Karlskirche Wien (2020)
korrekt gemessen in einem Nadirbild und zwei Schrägbildern