

# Photo-based-scanning als Erweiterung des ingenieurgeodätischen Leistungsspektrums

Samuel Burger, André Elflein und Ulrich Völter

## Zusammenfassung

Mit der Einführung der 3D-Laserscanner vor über zehn Jahren haben Ingenieurgeodäten begonnen, georeferenzierte 3D-Punktwolken zu erzeugen, zu bearbeiten und darauf basierende 3D-Modelle zu erstellen. Die Photogrammetrie schien auf ein Abstellgleis zu geraten. Aber in den letzten Jahren hat die algorithmische Auswertung dichter Bildverbände zu 3D-Punktwolken große Fortschritte gemacht. Die komplexen Algorithmen zur Kamerakalibration, Bildanordnung, Merkmalsextraktion und zum Erzeugen dichter Punktwolken sind in einfach zu handhabende Programme implementiert worden. Damit steht dem Ingenieurgeodäten ein weiteres Werkzeug zur Verfügung. Theorie, Vorgehensweise und praktische Beispiele werden aus Sicht von drei Praktikern dargestellt.

## Summary

*Since 3D laser scanners were introduced more than ten years ago, engineering surveyors have been producing georeferenced point clouds and deriving 3D models. Photogrammetry seemed to have become obsolete. In the last few years however, the algorithmic processing of dense picture collections has made significant progress. The complex algorithms for camera calibration, image alignment, feature extraction needed to obtain dense 3D point clouds have been implemented into programs that are fairly easy to use. With this, engineering surveying has gained access to yet another tool. In this article three skilled users describe theory, procedures and practical examples from their point of view.*

**Schlüsselwörter:** 3D-Vermessung, 3D-Modellierung, photo based scanning, UAV-Vermessung, Photogrammetrie

## 1 Motivation

3D-Vermessung ist der Überbegriff für unterschiedliche Aufnahmetechniken mit dem Ziel, eine Punktwolke oder ein 3D-Modell zu liefern. Vor etwas über zehn Jahren erschienen die ersten geodätisch praktisch nutzbaren Laserscanner auf dem Markt. Inzwischen sind sie als Werkzeug des Vermessungsingenieurs für die Bauwerksdokumentation etabliert. Software für die Bearbeitung und Auswertung von Punktwolken ist entstanden und hat inzwischen auch einen gewissen Reifegrad erreicht.

Vor diesem Hintergrund haben die Autoren vor zwei Jahren begonnen, sich auch mit der neuen Technologie des Photo-based-scanning zu beschäftigen. Dazu gehören terrestrische photogrammetrische Aufnahmen ebenso wie Aufnahmen mit unbemannten Flugsystemen, eng-

lich unmanned airborne systems (UAS) oder unmanned airborne vehicles (UAV). An unterschiedlichen Systemen ist auf diesem Gebiet derzeit kein Mangel. Anbieter von Hard- und Softwaresystemen sprießen aus dem Boden. Immer neue Formen von Fluggeräten, verbesserte Aufnahmetechniken, leistungsfähigere Software und Multi-Sensor-Systeme strömen auf den Markt. Diese Systeme gilt es zu bewerten, es gilt schrittzuhalten mit den Entwicklungen, den Herstellern und den Wettbewerbern, möglichst einen Schritt voraus zu sein. Eine Zielsetzung ist hierbei, Auftraggeber und Partner weiterhin in Geometriefragen auf dem Stand der Technik optimal zu beraten und wirtschaftlich bedienen zu können. Die Autoren berichten von Ihren Erfahrungen aus der Sicht des Praktikers.

Ein Kamerasystem, bestehend aus einer Nikon-Spiegelreflexkamera D800 mit 24 mm Nikkor Festbrennweite dient als Sensor für das terrestrische Erfassen von Fassaden, Felshängen, Kleinbauteilen etc. Verglichen mit dem Laserscanner erfolgt die Aufnahme schneller, da weitgehend passpunktfrei, die Punktwolken sind realitätsnäher, da dichter und häufig auch genauer, die Ergebnisse sind optisch ansprechender, da farbechter als mit herkömmlichen Methoden. Die Einsatzgebiete sind äußerst vielfältig, sofern gute fototechnische Bedingungen herrschen. In dem sich schnell verändernden Markt, in dem sich Photo-based-scanning, Laserscanning und die Auswertewerkzeuge für Punktwolken und 3D-Modelle gegenseitig befruchten, gilt es, Erfahrungen zu sammeln und geeignete Arbeitsmethoden zu definieren. Die genannten Systeme werden sich nicht ersetzen sondern ergänzen. Gemeinsam ergänzen sie das Sensor-Portfolio des Geodäten: Lasertracker, Laserscanner, Kamerasysteme, Tachymeter, Software und Methoden. Integration ist das Stichwort.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Grundprinzip

Ist ein Objekt auf zwei Fotos abgebildet, die mit einem gewissen Abstand und bekannter äußerer Orientierung aufgenommen wurden, so können aus den beiden Bildkoordinaten ein und desselben Punktes dessen Raumkoordinaten durch Vorwärtsschnitt abgeleitet werden. Diese Aufnahmekonfiguration wird als Stereonormalfall bezeichnet. Unter der äußeren Orientierung versteht man dabei die Lage der Kamera im Raum. Da diese nur mit großem Aufwand exakt zu bestimmen ist, werden heute

in der Photogrammetrie weiterführende Methoden verwendet.

Folgende Unbekannte sind zu lösen:

- Innere Orientierung:
  - Kamerakonstante (Abstand Brennpunkt – Bildebene)
  - Koordinaten des Bildhauptpunktes auf der Bildebene
- Äußere Orientierung (Lage der Kamera im Raum)
- Objektkoordinaten

## 2.2 Merkmalsidentifikation

Wie in Abb. 1 dargestellt ist, lässt sich bei ausreichender Überdeckung der Bilder aus der Anordnung der Bildpunkte identischer Objektpunkte die relative Zuordnung

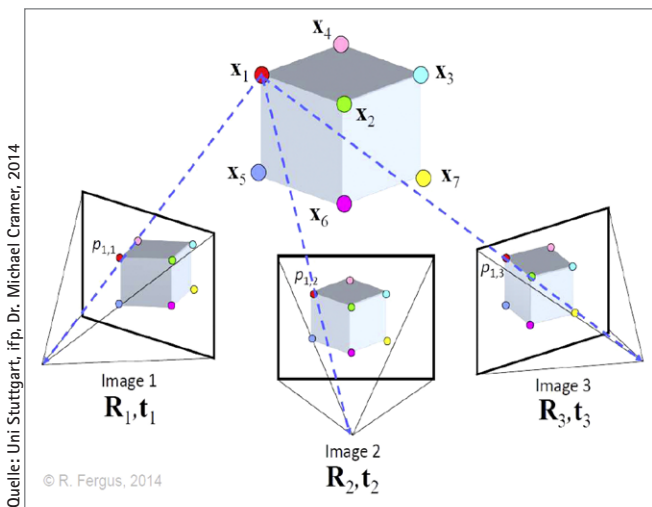


Abb. 1: Prinzip der impliziten Bildausrichtung anhand abgebildeter Objekt-Merkmale

der Bilder, also die äußere Orientierung, ableiten. Die Längs- und Querüberdeckung muss bei 70 % bis 80 % liegen, um eine ausreichende Orientierungsqualität zu ermöglichen. Um in den Bildern identische Punkte zu erkennen, wird die skaleninvariante Merkmalstransformation (scale-invariant feature transform, SIFT) eingesetzt. Dieser Algorithmus benötigt Struktur, Kontrast und identische Beleuchtungssituationen in den Bildern. Im Anschluss werden mittels RANSAC-Algorithmus (Random-Sample-Consensus) Ausreißer aus den mittels SIFT erkannten identischen Punkten eliminiert.

## 2.3 Bündelblockausgleichung

Bei ausreichend strukturierten Objekten können viele identische Punkte ermittelt werden, die in den Bildern jeweils über die gesamte Bildfläche verteilt sind.

Im nächsten Schritt wird eine Bündelblockausgleichung ausgeführt. Sie bestimmt aus der Lage der identischen Punkte in den Bildern in einem Schritt die innere Orientierung der Kamera und die äußere Orientierung der einzelnen Bilder. Dies hat zur Folge, dass auf eine Kalibrierung der Kamera vor der Aufnahme in den meisten Fällen verzichtet werden kann.

Die absolute Größe des Objektes lässt sich mit der Bündelblockausgleichung indes nicht bestimmen. Dazu ist mindestens eine reale Streckeninformation nötig. Dieser Maßstab muss noch ermittelt werden.

Die absolute Größe des Objektes lässt sich mit der Bündelblockausgleichung indes nicht bestimmen. Dazu ist mindestens eine reale Streckeninformation nötig. Dieser Maßstab muss noch ermittelt werden.

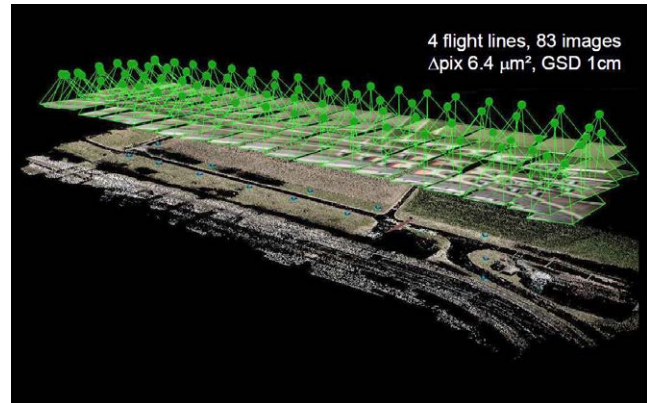


Abb. 2: Visualisierte Kamerapositionen über schütterer Punktwolke

In Abb. 2 sind die Kamerapositionen eines Bildfluges visualisiert, die mittels Bündelblockausgleichung ermittelt wurden. Die äußere Orientierung und die Kameraparameter sind nun bekannt. Die dargestellte Punktwolke wird als sparse point cloud – schütterer Punktwolke – bezeichnet. Hier sind nur die identischen Punkte dargestellt, die in mindestens drei Bildern erkannt wurden. Die Punktwolke befindet sich in zufällig skaliert Lage frei im Raum, der äußere Bezug ist noch nicht hergestellt.

Beim Georeferenzieren der Punktwolke, werden pro Bildverband mindestens sechs bis acht Punkte markiert, deren Koordinaten im Zielkoordinatensystem bekannt sind. Beim Aufnehmen der Bilder ist natürlich darauf zu achten, dass diese sogenannten Passpunkte mit aufgenommen werden und später eindeutig und genau identifiziert werden können. Aus diesem Grund werden sie in aller Regel signalisiert. Über eine Sieben-Parameter-Transformation (Verschiebung in  $x,y,z$ , Rotation um  $x,y,z$  und Maßstabsfaktor) kann der Bildverband in das übergeordnete Zielkoordinatensystem transformiert werden.

## 2.4 DENSE Image Matching

Um von der bisher erstellten, schütterer Punktwolke zu einer dichten Punktwolke zu kommen, werden Algorithmen angewandt, die unter dem Begriff dense image matching zusammengefasst sind. Alle Unbekannten sind eliminiert, d.h. innere und äußere Orientierung, Kamerakalibrierung und Georeferenzierung sind ermittelt und die zweidimensional im Bildkoordinatensystem vorliegenden Bildpunkte können durch die aus Bildtriangulierung und Bündelblockausgleichung ermittelten Werte in dreidimensionale Punkte überführt werden. Dabei entsteht eine sehr viel dichtere Information, eine dichte Punktwolke.

### 3 Erstellen des Bildverbandes

Aus der Beschreibung des Auswerteverfahrens ergibt sich, dass ein Bildverband den nachfolgenden Bedingungen genügen muss, damit er gut auszuwerten ist:

- mindestens 70 % Überlappung zwischen den einzelnen Bildern,
- zwischen zwei einzelnen Aufnahmen muss der Standort der Kamera verändert werden,
- das fotografierte Objekt muss Struktur aufweisen,
- die Beleuchtung muss während der Aufnahme konstant bleiben,
- der gesamte Bildverband sollte mit der gleichen Fokussierung und Belichtungszeit erstellt werden.

Um möglichst »perfekte« Ergebnisse zu erzeugen, sollten noch eine Reihe weiterer Details berücksichtigt werden. Sie beziehen sich auf Kameraeinstellungen, Optik und die Aufnahmekonfiguration.

Die erreichbaren Genauigkeiten ergeben sich aus der Entfernung der Kamera zum Objekt, der verwendeten Brennweite und der Pixelgröße auf dem Sensor der Kamera. Bei 20 m Entfernung zum Ziel ist bei Aufnahmen mit einer guten Vollformatsensorkamera (24 mm × 36 mm) und 24 mm Brennweite eine theoretische Genauigkeit von 3 mm am Objekt zu erreichen. Wird die Brennweite verlängert oder der Abstand zum Ziel verkürzt, kann die theoretisch erreichbare Genauigkeit noch gesteigert werden.

## 4 Projektbeispiele

### 4.1 UAV-Vermessung am Beispiel einer Urgeländeaufnahme

Der Neubau der A44 vom AD Kassel-Ost nach Herleshausen an der thüringischen Grenze bei Eisenach dient als West-Ost-Achse innerhalb des transeuropäischen Verkehrsnetzes. Sie verbindet die A44 bei Kassel mit der A4 bei Eisenach und entlastet die vom starken Durchgangsverkehr gebeutelten Gemeinden entlang der B7 im Werra-Meißner-Kreis. Momentan befinden sich vier von elf Bauabschnitten in der Bauphase, darunter fällt auch der Abschnitt 12 AS Helsa-Ost – AS Hessisch-Lichtenau-West. Der erste Spatenstich fand hier am 25.05.2010 statt. Nach mehreren abgewiesenen Klagen begann der Bau im Februar 2013. Die Erdarbeiten schließen direkt an den Tunnel Hirschhagen an, der mit 4,2 km nach Fertigstellung der zweitlängste Straßentunnel in Deutschland sein wird. Bedingt durch das hügelige Gelände sind die Erdarbeiten recht umfangreich. In einem ca. 200.000 m<sup>2</sup> großen Streifen sollte das Urgelände aufgenommen werden, um die Erdbewegungen planen und präzise abrechnen zu können. Nach Rodung des Geländes (Abb. 3) wurde das Gelände zunächst mit GPS in einem Raster von 5 m erfasst.

Während des Projektverlaufs wurde der Entschluss gefasst, einen Teil des Geländes mittels eines UAVs, also einer Drohne, aufzunehmen. Durch die zuvor erfolgte Erfassung des Geländes mit klassischem GPS konnte nun ein direkter Vergleich der Ergebnisse in den Bereichen Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden.



Abb. 3: Gerodetes Urgelände



Abb. 4: Oktokopter mit Fernsteuerung auf mobiler Start-rampe

Mit Hilfe der Drohne (Abb. 4) konnte innerhalb von vier Stunden eine Fläche von 120.000 m<sup>2</sup> befliegen werden. Die gleichmäßig im Gelände verteilten Passpunkte wurden parallel dazu mittels GPS bestimmt. Die Bilder wurden streifenweise mit einer Längs- bzw. Querüberdeckung von 70 % erstellt.

Hierfür wurde der Flug bereits im Vorfeld am Laptop geplant. Das Bearbeitungsgebiet und der gewünschte Überdeckungsgrad der Flugstreifen wurden definiert. Die von der Software ermittelten Wegpunkte konnten nun von der Drohne abgeflogen werden. So war sichergestellt, dass die Fläche vollständig vom Bildverband erfasst und mit dem gewünschten Überlappungsgrad abgedeckt war.

Beim Bildflug entstanden 284 Bilder. Die Auswertung bis zur georeferenzierten dichten Punktwolke nahm 40 Stunden Rechenzeit in Anspruch. Nach der Transformation der Sparse Point Cloud in das übergeordnete Großkoordinatensystem (Abb. 5) konnten erste Rückschlüsse auf die erreichte Genauigkeit gezogen werden. Abb. 6 zeigt die verbleibenden Restklaffen der im Bildver-



Abb. 5: Schütterere Punktwolke mit eingeblendeten Passpunkten (Ground Control Points – GCP)

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
18	0.006281	0.018145	-0.003357	0.019492	13	0.800968
17	0.019226	-0.035011	-0.045702	0.060697	14	0.892109
16	0.013243	-0.023775	-0.007454	0.028217	9	1.474885
1	-0.000000	0.000000	0.000000	0.000000		
2	-0.016638	0.004204	0.017782	0.024713	1	0.000000
3	-0.001923	0.032970	0.027949	0.043265	5	0.818176
4	-0.032711	0.047371	-0.019382	0.060743	6	1.479501
5	-0.017083	-0.002866	0.032746	0.037046	22	1.106383
6	-0.097369	-0.012328	0.005598	0.098305	23	0.816292
7	-0.046567	0.021973	0.023324	0.056527	17	1.444401
8	-0.004669	0.009025	-0.006707	0.012175	16	1.213446

Abb. 6: Restklaffen an den Passpunkten zwischen Bildflug und GPS-Aufnahme

band gemessenen Passpunkte zu den mit GPS bestimmten Passpunkten im Gelände. Die durchschnittliche Genauigkeit in den Passpunkten von 4 cm entspricht der mit GPS erreichbaren Genauigkeit.

Im Anschluss wurde aus dem Bildverband eine dichte Punktwolke abgeleitet und aus dieser wiederum ein digitales Geländemodell (DGM), sowie ein hochauflösendes Orthophoto. Die Ergebnisse der DGMs aus klassischer GPS-Messung und UAV-Befliegung wurden einander gegenübergestellt. Abb. 7 zeigt die Verteilung der Differenzen zwischen GPS-DGM und Photogrammetrie-DGM. Hierbei ist zu beobachten, dass sich die Abweichungen gleichmäßig um Null verteilen, was auf eine hohe durchschnittliche Übereinstimmung der beiden Modelle schlie-

ßen lässt. Die vorhandenen Abweichungen von  $\pm 0,2$  m resultieren aus der wesentlich höheren Auflösung des aus Photogrammetrie erzeugten DGMs. Kleinere Erdhügel und Furchen werden im DGM aus GPS übergangen und generalisiert. Diese Generalisierung kann bei einer Gegenüberstellung der beiden DGMs sichtbar gemacht werden. In Abb. 8 ist eine deutliche Struktur von Furchen und Erdhügeln zu erkennen. Bei den roten Bereichen im unteren linken Bereich handelt es sich um Erdhügel, die im GPS-DGM nicht berücksichtigt wurden. Es kann somit nicht nur von einer deutlichen Steigerung im Punkt Wirtschaftlichkeit und Effizienz, sondern auch im Bereich der erzielbaren Genauigkeit ausgegangen werden. Durch die erhöhte Anzahl an Informationen kann somit auch ein Mehrwert erreicht werden.

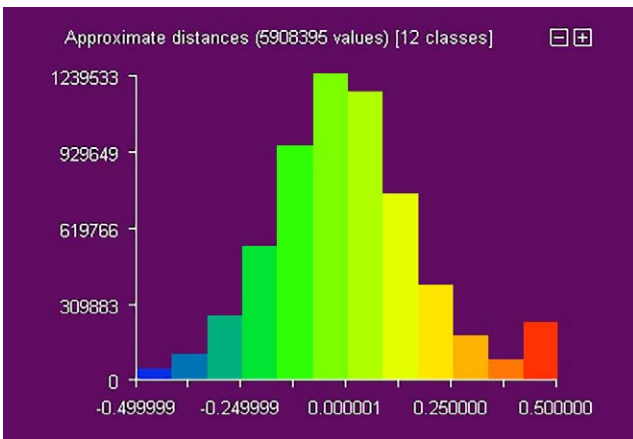


Abb. 7: Verteilung der Differenzen zwischen den beiden aus der GPS-Aufnahme bzw. dem Bildflug ermittelten DGMs

#### 4.2 Nahbereichsphotogrammetrie am Beispiel Designer-Sessel H57

Ursprünglich für die Ausstellung Interbau 1956 in Berlin entwickelt, dann aber in Vergessenheit geraten, wurde der Prototyp des Designer-Sessels H57 im Jahr 2010 in Stuttgart wiederentdeckt. Der Entdecker fand Gefallen an dem mit grünem Velours bezogenen Unikat, leider aber keine Formen oder Werkzeugzeichnungen. Diese sollten nun auf Basis eines vom Prototyp erstellten 3D-Modells erzeugt werden, um eine originalgetreue Serienproduktion zu ermöglichen.

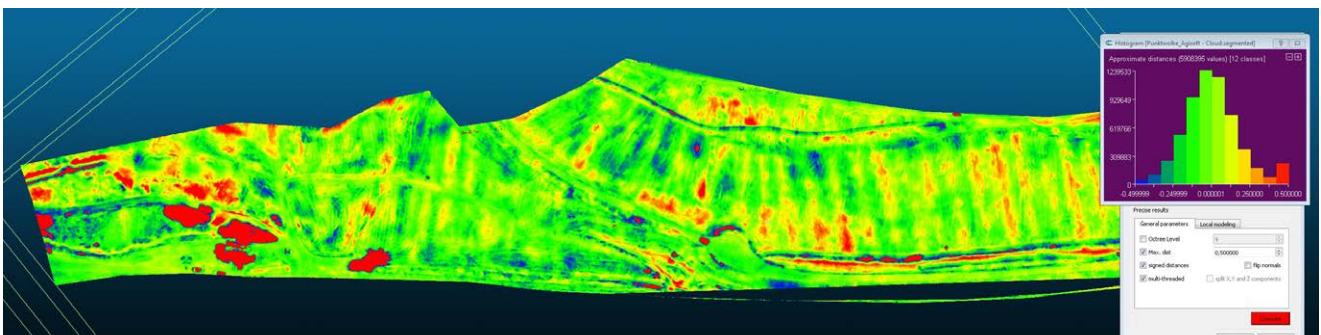


Abb. 8: Visualisierung der Differenzen zwischen den beiden DGMs



Abb. 10:  
3D-Modell des Sessels

Quelle: [www.markanto.de/Markanto-Store/Entwurfjahr/1950-1959/H57-Sessel::1776.html](http://www.markanto.de/Markanto-Store/Entwurfjahr/1950-1959/H57-Sessel::1776.html), 3.6.2015



Abb. 9: Photogrammetrisch erzeugte Punktwolke des Sessels H57

Mit der Spiegelreflexkamera Nikon D800 und AF Nikkor 24 mm/2,8 D wurde der Sessel im Studio der Autoren mit wenigen Fotos erfasst. Als Vorbereitung waren der Fuß abmontiert und coded targets (codierte Bildmarken) zur gegenseitigen Referenzierung der Bilder ausgelegt worden. Die coded targets bestehen aus mehreren konzentrischen Kreisen, in denen unterschiedliche Segmente schwarz bzw. weiß eingefärbt sind und einen 12-bit-Code darstellen. Die codierten Bildmarken werden von der Software automatisch erkannt und auch die Codierung kann interpretiert werden, sodass eine automatische Zuordnung der Passpunkte erfolgt.

Nach der oben beschriebenen Methode wurde aus dem Bildverband eine dichte und farbechte Punktwolke erzeugt. Die zwischen den coded targets gemessenen Spannungen lagen bei 0,5 mm, die auf dem Objekt erzeugte



Abb. 11:  
Realitätsnahe  
Vermaschung des  
Sessels mit leichten  
Unebenheiten



Abb. 12:  
Geglättetes Mo-  
dell des Sessels im  
.step-Format

Punktdichte bei über 1 Punkt/mm<sup>2</sup>. Anhand der Detailreue der erzeugten Punktwolke (Abb. 9) ist das nachvollziehbar.

Mit der Software GeoMagic konnte aus der Punktwolke eine 3D-Vermaschung (mesh) berechnet werden (Abb. 11).

Für die Weiterverarbeitung musste die Vermaschung in ein für CNC-Fräsen geeignetes Format, das .step-Format, übertragen werden. Dabei werden die leichten Unebenheiten der realitätsnahen Vermaschung generalisiert (Abb. 12). Auf Basis dieses .step-Modells konnte eine Negativform der Sessel-Hartschale hergestellt werden und die Produktion des Sessels starten.

#### 4.3 Dokumentation von Felssicherungsmaßnahmen am Beispiel der Zollernalbbahn

Die Schmeie ist ein kleines Nebenflüßchen der Donau. Sie hat sich zwischen Storzingen und Inzigkofen auf der Schwäbischen Alb ein malerisches Tal gegraben. In dieses Tal schmiegt sich ein Teilstück der Zollernalbbahn von Tübingen über Balingen und Sigmaringen nach Aulendorf. Der Abschnitt Storzingen-Sigmaringen ist von zahlreichen Felshängen, Felsspassagen und Tunneln gekennzeichnet. Im Zuge von Felssicherungsmaßnahmen wurden an 16 Bauwerken Netze gespannt und mit zahlreichen Ankern im Fels befestigt (Abb. 13). Auf einer Länge von 14 km sollten diese Sicherungsmaßnahmen vermessungstechnisch erfasst und im Referenzsystem der Deutschen Bahn – dem DBREF – dokumentiert werden. Zu diesem Zweck war die Ausdehnung der Netze und die Lage jedes Ankerpunktes zu ermitteln und darzustellen. Die 16 einzelnen Bauwerke haben eine Länge von 50 m bis 200 m und sind mit durchschnittlich 300 Ankern befestigt.

Das erste Teilprojekt, das die ersten acht Bauwerke umfasste, wurde ausschließlich mit klassischen Messinstrumenten wie Tachymeter und GPS erfasst. Der Außendienst dauerte elf Messtage. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Dokumentationsarbeiten bis zur Fertigstellung der zweiten Hälfte der Bauwerke unterbrochen. Während dieser Projektpause wurde der Entschluss gefasst, die restlichen acht Bauwerke mit der neuen Methode des Photo-based-



Abb. 13: Die Zollernalbbahn zwischen zwei gesicherten Felshängen

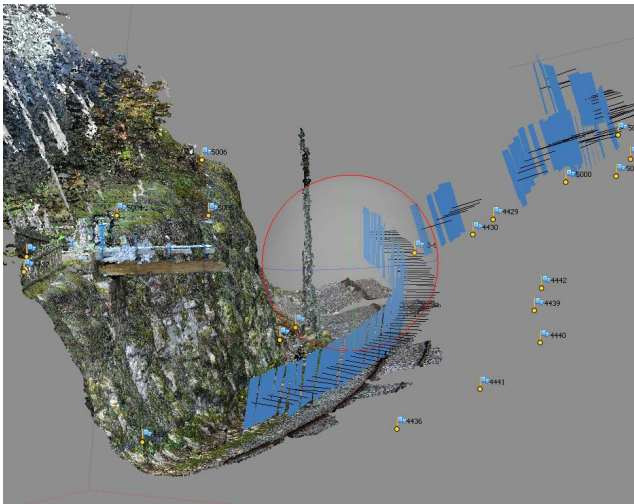


Abb. 14: Aufnahmekonfiguration eines Felshanges

scanning zu erfassen. Begünstigt wurde diese Entscheidung durch die Tatsache, dass bei den noch ausstehenden Felshängen jeweils ein begehbarer Gegenhang vorhanden und somit die Sichtbarkeit aller Bauteile gewährleistet war. Dieser Gegenhang erlaubte auch zusätzliche Blickwinkel und das Erfassen der Bauwerke in jeweils zwei bis drei Bildstreifen mit Aufnahmeabständen von etwa 2 m (Abb. 14). Als Passpunkte wurden einige der Anker tachymetrisch bestimmt, um die Punktwolke ins DBREF-System transformieren zu können.

Das Erzeugen der Punktwolken dauerte jeweils viele Stunden, erfolgte aber in der Software vollautomatisch, sodass dieser rechenintensive Prozess in die Nachtstunden verlegt werden konnte. Lediglich die Passpunkt-Anker mussten noch manuell identifiziert werden.

Hierbei stellte sich heraus, dass die Zuverlässigkeit der Messung am Bildschirm wesentlich höher ist, als die reflektorlose Messung vor Ort. Für den Beobachter am Instrument ist es äußerst schwierig, bei den gleichmäßig über einen ausgedehnten Bereich angebrachten Ankern die Übersicht zu behalten. Es erfordert ein hohes Maß an Konzentration, sicherzustellen, dass kein Anker übersehen wird. Doppelmessungen sind aus diesem Grund recht wahrscheinlich. Ein weiterer Vorteil der photogrammetrischen Auswertemethode ist, dass der jeweilige Innendienst-Bearbeiter, der eventuell keine Kenntnisse

der Örtlichkeit hat, mittels der Punktwolke einen guten Eindruck vom zu bearbeitenden Projekt bekommt. Details können besser geklärt werden und Rückfragen erübrigen sich häufig.

Ein weiterer Mehrwert dieser Erfassungsform ist die Möglichkeit, zusätzliche Produkte wie Querprofile, Ausdehnung der Netzoberfläche und ein abgewinkeltes Farborthophoto (Abb. 15) aus der Punktwolke abzuleiten.

Die Erfassungszeit vor Ort lag beim Photo-based-scanning bei etwa einem Drittel der Auswertzeit mit klassischen Methoden. Die Auswertzeit im Innendienst dauerte bei beiden Methoden etwa gleich lang, wobei die reinen Rechenzeiten ohne Benutzerinteraktion nicht mitgezählt sind.

## 5 Fazit

Abschließend kann festgehalten werden, dass die moderne Photogrammetrie eine ideale Ergänzung der klassischen Messmethoden darstellt. Aber auch diese Methode ist kein Allheilmittel. Es gibt Aufgabenbereiche, die mittels Photogrammetrie schlicht nicht lösbar oder in denen klassische Messinstrumente deutlich überlegen sind. Schlecht beleuchtete Objekte, starke Schattenbildung und starker Bewuchs schränken die Einsatzmöglichkeiten ein. Auf der anderen Seite kann die Photogrammetrie mit hoher Erfassungsgeschwindigkeit, geringen Anschaffungskosten, großer Flexibilität und – bei geeigneter Wahl von Sensor und Abstand – auch mit der Genauigkeit punkten, siehe bspw. Nahbereichsphotogrammetrie.

Den größten Vorteil sehen die Autoren aber in der Kombination bzw. im flexiblen Einsatz der zur Verfügung stehenden Messinstrumente. Daher ist es nötig, die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Systeme zu kennen und gegebenenfalls auch auf Spezialisten zurückgreifen zu können.

### Anschrift der Autoren

Samuel Burger, samuel.burger@intermetric.de  
 André Elflein, andre.elflein@intermetric.de  
 Ulrich Völter, ulrich.voelter@intermetric.de  
 intermetric GmbH, Industriestraße 24, 70565 Stuttgart  
 www.intermetric.de

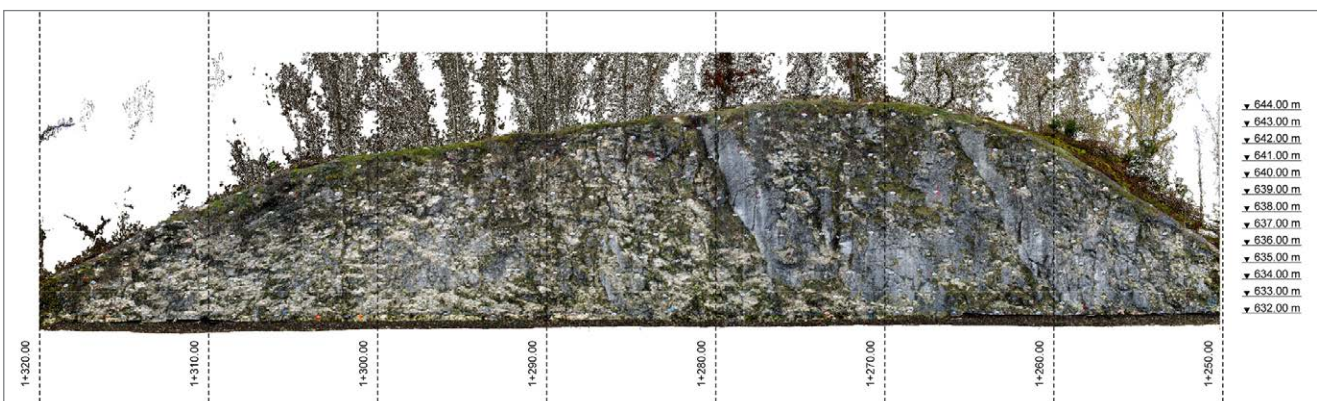


Abb. 15: Aus der Punktwolke abgeleitetes, abgewinkeltes Orthophoto