28 FAN-Agenda 1/2024

Fotografie zur einfachen, kostengünstigen und effektiven Kartierung von Naturereignissen

Eine an der WSL entwickelte Software für die Erfassung von vergangenen und aktuellen Naturereignissen

Claudio Bozzini^{1,2} (claudio.bozzini@wsl.ch, claudio.bozzini@i2w.ch) Veronica Bozzini²

¹ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungsgruppe Fernerkundung, Birmensdorf

² image2world GmbH, Zürich

Résumé

Depuis sa création, la photographie est un moyen simple et immédiat de documenter le paysage. Les photographies obliques terrestres historiques ou actuelles qui documentent les catastrophes naturelles montrent souvent des informations très détaillées et peuvent aujourd'hui être facilement prises avec différents appareils accessibles à tous.

Le logiciel, initialement développé au WSL (wsl.ch/monoplotting) et désormais repris par la société image2world GmbH (i2w.ch), permet d'utiliser des photos obliques terrestres ou aériennes individuelles pour cartographier les phénomènes naturels (ainsi que d'autres caractéristiques du paysage) de manière économique et efficace. Des photos ordinaires prises à l'aide d'un smartphone, d'un drone ou d'un hélicoptère deviennent des cartes en 3D disponibles pour les professionnels.

Zusammenfassung

Die Fotografie ist seit ihrer Entstehung ein einfaches und unmittelbares Mittel zur Do-kumentation der Landschaft. Historische oder aktuelle terrestrische Schrägaufnahmen, die Naturkatastrophen dokumentieren, zeigen oft sehr detaillierte Informationen und können heutzutage mit verschiedenen Geräten von jedermann leicht aufgenommen werden.

Die Software, ursprünglich an der WSL entwickelt (wsl.ch/monoplotting) und nun von der Firma image2world GmbH (i2w.ch)

übernommen, ermöglicht den Einsatz einzelner terrestrischer oder Luftschrägaufnahmen, um Naturereignisse (und auch andere Landschaftsmerkmale) kostengünstig und effizient zu kartieren. Gewöhnliche Fotos, mit einem Smartphone, einer Drohne oder einem Hubschrauber aufgenommen, werden zu 3D-Karten, die der Fachwelt zur Verfügung stehen.

Einleitung

Naturereignisse wie Lawinen, Erdrutsche, Steinschlag, Murgänge und Überschwemmungen werden zu einer Gefahr, wenn sie Schäden an Infrastruktur und Menschen verursachen. Die Zunahme von Siedlungs- und Industrieflächen, sowie der wachsende Bedarf an Technik und Mobilität machen die moderne Gesellschaft sehr anfällig für Naturereignisse, und die daraus resultierenden Schäden können erheblich sein.

Zudem werden extreme Naturereignisse und ihre Auswirkungen aufgrund des fortschreitenden Klimawandels in Zukunft voraussichtlich weiter zunehmen. Dies macht den Umgang mit Naturgefahren und die Minimierung ihrer Auswirkungen zu einer Voraussetzung für die Bewirtschaftung von Siedlungsgebieten und darüber hinaus zu einem wichtigen Mittel für die Raumplanung.

Das Lernen aus vergangenen Ereignissen ist ein sehr wirksames Mittel, um unser Wissen zu erweitern und die institutionelle Infrastruktur für einen nachhaltigen Umgang mit Naturgefahren zu verbessern. Dazu gehört auch die systematische Erfassung, Dokumentation und Nachbereitung von aktuellen und vergangenen Ereignissen.

Bei aktuellen Katastrophenereignissen haben die Rettung von Menschen und die Wiederherstellung der beschädigten Kommunikations- und Verkehrsverbindungen Vorrang. Bei diesen Einsätzen können Anzeichen erheblicher Schäden verwischt werden, so dass eine spätere Erfassung detaillierter Informationen zur Dokumentation des Ereignisses nicht möglich ist: Die Fotografie kann einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, den Verlust dieser Informationen zu verhindern.

Ebenso bei vielen kleinen gleichzeitigen Ereignissen oder bei Ereignissen in abgelegenen und schwer zugänglichen Gebieten stehen möglicherweise nur terrestrische oder Luftschrägaufnahmen zur Verfügung, die von Rettungsmannschaften oder Technikern gemacht werden. Der Inhalt dieses Artikels bezieht sich auf bereits publizierten Studien, die Beispiele der Anwendung der Software zeigen (siehe Literatur).

Fotografie und Monophotogrammetrie/Monoplotting

Kurze Geschichte

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelt, erwies sich die Fotografie bald als eine sehr wirksame Methode zur Dokumentation der Merkmale und der Dynamik Agenda FAN 1/2024 29

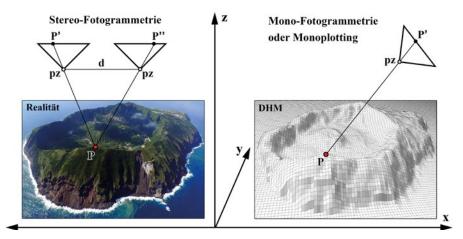


Abbildung 1: Grundsätze der Stereo- und Monophotogrammetrie angewandt auf der japanischen Vulkaninsel Aogashima (Anpassung von Patrik Krebs, WSL, aus Waldhäusl und Hochstöger, 1990, S.137).

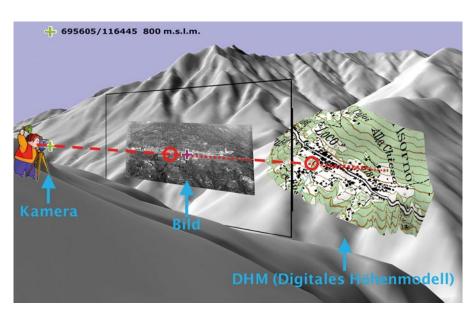


Abbildung 2: Georeferenziertes Monoplotting-System (erfolgreiche Kamerakalibrierung).

der Landschaft. Mehrere grosse Sammlungen historischer Fotografien, die in öffentlichen oder privaten Archiven vorhanden sind, stellen eine enorme Ressource für die Untersuchung der Landschaftsentwicklung dar. Aufgrund der Schwierigkeiten, quantitative geografische Daten aus einzelnen Schrägbildern zu gewinnen, blieb diese Ressource lange Zeit ungenutzt.

In der letzten Zeit haben die Zunahme der Rechenleistung, die Verbesserung der digitalen Höhenmodelle (DHM) und die Einführung benutzerfreundlicher und vielseitiger geografischer Informationssysteme (GIS) neue Perspektiven für die breite Nutzung einzelner terrestrischer Schrägaufnahmen durch die

Monophotogrammetrie (oder Monoplotting) eröffnet.

In den letzten Jahrzehnten wurden mehrere Versuche unternommen, Software und Werkzeuge rund um das Monoplotting zu entwickeln, aber keines dieser Produkte entspricht den Bedürfnissen der Endnutzer in Bezug auf die operative Flexibilität und die Benutzerfreundlichkeit, so dass eine umfassende Nutzung stark behindert wird. Mit dem 2010 gestarteten Projekt Monoplotting hat die WSL versucht, diese Lücke zu schliessen, mit der Entwicklung des WSL Monoplotting Tools (MPT), einer benutzerfreundlichen Software für die Georeferenzierung aktueller und

historischer Schrägaufnahmen, die auch für eine grosse Anzahl potenzieller fachfremder Nutzer zugänglich ist.

Das Monoplotting-Prinzip

Unter Photogrammetrie versteht man in der Regel und implizit die Stereophotogrammetrie oder insbesondere die Technik der Erfassung von Daten oder 3D-Informationen aus zwei oder mehr sich überlappenden Luftbildern. Im Gegensatz dazu stellt die Monophotogrammetrie oder Monoplotting ein photogrammetrisches System dar, bei dem einzelne schräge terrestrische oder Luftaufnahmen mit entsprechenden digitalen Höhenmodellen (DHM) verknüpft werden (Abbildung 1).

In der Praxis werden die Kamera, das Bild und das DHM so zueinander in Beziehung gesetzt, dass ein Strahl, der vom Zentrum der Kamera ausgeht und durch einen ausgewählten Punkt in der Bildebene verläuft, die Landoberfläche (DHM) in dem entsprechenden realen Punkt schneidet.

Das Monoplotting-System

Das Monoplotting-System besteht aus den folgenden Elementen (Abbildung 2):

- Ein digitales Bild, das von modernen Digitalkameras oder durch Scannen alter Bilder gewonnen wird. Die Eigenschaften des Bildes beeinflussen die endgültige Genauigkeit des Systems.
- Das digitale Höhenmodell (DHM), das die auf dem Bild abgebildete Region abdeckt.
- Das mathematische Modell der Kamera, das unter Verwendung von mindestens vier Passpunkten (PP) rekonstruiert wird.
 PPs sind Punkte, von denen sowohl die Position auf dem Bild in Pixeln als auch die Position in der realen Welt in realen Koordinaten bekannt sind.

Das System gilt als georeferenziert, wenn die Kamera kalibriert ist, d.h. wenn Kamera, Bild und DHM so positioniert sind, dass jeder 30 FAN-Agenda 1/2024

Strahl, der vom Kamerazentrum ausgeht und durch einen Punkt auf dem Bild verläuft, die Bodenoberfläche im entsprechenden realen Punkt schneidet.

Erwartete Genauigkeit

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die Genauigkeit der gewonnenen Daten im Wesentlichen von der Qualität des Bildes (insbesondere seiner Auflösung), der Auflösung des DHMs und der Genauigkeit und Verteilung der Passpunkte abhängt. Im besten Fall, d.h. in Gebieten mit hoch aufgelöstem DHM und vielen, einfach erkennbaren (z.B. Gebäuden) und homogen verteilten Passpunkten, kann eine Genauigkeit von unter einem Meter erreicht werden.

Lokal starke Abweichungen können hingegen in Geländepartien mit einem kleinen Einfallswinkel gegenüber dem Kamerastrahl oder auf Kuppenlagen entstehen, bei denen eine kleine Ungenauigkeit beim Anklicken des jeweiligen Punktes auf dem Bild ein Überzielen des Kamerastrahles ins Hintergrundgelände oder in den Himmel bewirkt.

Bei weit entferntem Gelände im Hintergrund eines Bildes muss ebenfalls mit einer reduzierten Genauigkeit gerechnet werden. Weitere Fehlerquellen stellen Geländeveränderungen dar, die in der Zeit zwischen der Bildaufnahme und der DHM-Messung erfolgt sind. Im Fall von Rutschungen oder Murgängen dürfen mittels des Monoplotting-Ansatzes natürlich nur die unberührten Randgebiete, d.h. Anriss- und Ablagerungsgrenzen, georeferenziert werden. Eindeutig an seine Grenzen stösst das System, wenn der Aufnahmewinkel sehr klein ist (flaches bis hügeliges Gelände) oder wenn die Passpunkte zu wenig eindeutig oder zu einseitig verteilt sind.

Fotografie wird zu einer 3D-Karte

In diesem Abschnitt werden einige Beispiele von Naturereignissen vorgestellt, die meistens aus publizierten Fachartikeln (siehe Literatur) der vergangenen Jahre stammen. Diese und weitere Beispiele können direkt in den in der Literatur zitierten Artikeln oder auf i2w.ch nachgelesen werden.

Murgänge Lammbach

Brienz/Schwanden (BE), 1896

Die Brienzer Wildbäche sind wegen zahlreicher Naturkatastrophen mit zum Teil verheerenden Folgen weit über die Region Brienz hinaus bekannt. Am 26. Mai 1896 lagerte sich eine Rutschung mit einem Volumen von 300'000 m³ im Lammbachgraben ab und bildete einen natürlichen Staudamm. In der Folge bildete sich dahinter ein See. Am 31. Mai durchbrach das Wasser den Wall und verursachte einen ersten, riesigen Murgang, der im Kienholz Schäden an Wohnhäusern und Kultur- und Ackerland verursachte. Ein zweiter Ausbruch erfolgte in der Nacht vom 11. auf den 12. Juni. Zwischen dem 20. und 23. August richteten weitere Murgänge grosse Schäden an Wohnhäusern,

der Staatsstrasse, der Brünigbahnlinie und an Ackerland an; die Geröll- und Schlammschicht war bis zu 3 m mächtig. Aus den vorhandenen Ereignisbeschreibungen konnte der gesamte Prozessraum zwar grob abgeschätzt werden, aber erst die Georeferenzierung einer Gegenhangaufnahme aus dem Bildarchiv der ETH-Bibliothek (Abbildung 3) ermöglichte es, die Murgangablagerungen exakt einzugrenzen.

Hochwasser in Sommascona

Olivone (TI), 1927

Im Herbst 1927 fielen auf der Alpensüdseite der Schweiz und in Norditalien wiederholt Starkniederschläge, die zu Hochwasserereignissen unterschiedlichen Ausmasses führten. Im Bleniotal fand das schlimmste Ereignis am 25. September 1927 um 15:00 Uhr statt, nachdem die Niederschläge sich in Form sehr starker Regenfälle auf die Region Olivone konzentriert hatten. In Campo Blenio wurde ein Dorfteil zerstört, und in Olivone wurde die ganze Ebene übersart und zwei Sägereien sowie weitere Gebäude vernichtet. Dank des günstigen Wochentags gab es keine Verletzten zu beklagen.

Hangmure Tschentetal/Egerle

Adelboden (BE), 2011

Am Alpennordhang fielen zwischen dem 6. und dem 10. Oktober 2011 flächig 70 bis über 120 mm Niederschlag. Bemerkenswert waren insbesondere die Neuschneemengen vom 8. Oktober. Während die Schneefallgrenze am

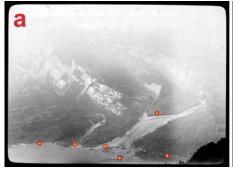






Abbildung 3: Fallbeispiel Murgang Lammbach – Brienz/Schwanden (BE). a) Originalbild von 1896 (Bildarchiv ETH-Bibliothek) mit Passpunkten, b) Originalbild mit digitalisiertem Murgang-Perimeter, c) Orthofoto mit digitalisiertem Murgang-Perimeter (swisstopo). Die grosse Herausforderung bei dieser Auswertung bestand darin, Passpunkte zu finden, die 116 Jahre nach der Aufnahme des Fotos noch immer vorhanden sind.

Agenda FAN 1/2024 31

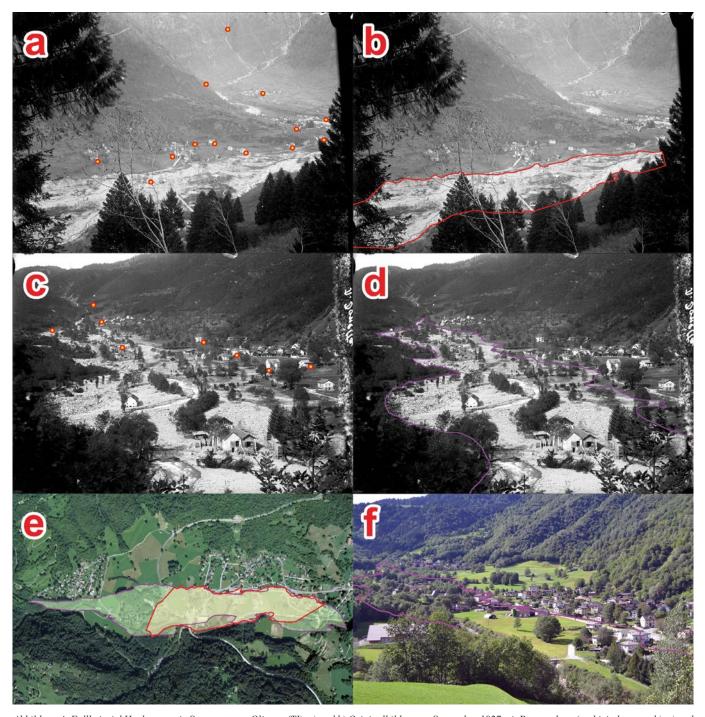


Abbildung 4: Fallbeispiel Hochwasser in Sommascona, Olivone (TI). a) und b) Originalbilder vom September 1927 mit Passpunkten (archiviodonetta.ch), c) und d) Originalbilder mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter, e) Orthofoto mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter (swisstopo), f) Projektion des Ablagerungsperimeters auf eine aktuelle Aufnahme (Cristian Scapozza, SUPSI). Dank den von unterschiedlichen Standorten aus aufgenommenen Bildern war es möglich, das Ablagerungsgebiet fast vollständig zu erfassen. Dazu wurden die Polygone der einzelnen Bilder vereint.

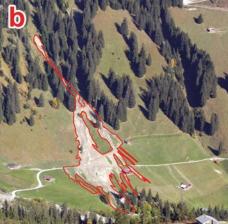
9. Oktober noch vorübergehend unter 1000 m ü. M. lag, stieg sie am Vormittag des 10. Oktober infolge der feuchten Warmluft aus den subtropischen Breiten auf über 3000 m ü. M. an. Das markante Tauwetter führte dazu, dass ein beträchtlicher Teil des zuvor

gefallenen Schnees schmolz und mit den erneuten Niederschlägen ab dem 9. Oktober im Alpenraum zu Hochwasser führte. In Adelboden löste sich am 10. Oktober im Gebiet Egerle auf 1580 m ü. M. eine Hangmure, die über eine Alperschliessungsstrasse floss und

sich auf dem Weideland auf einer Breite von maximal 120 m ablagerte. Ihre Front drang bis auf 1400 m ü. M. vor. Der Prozessraum wurde nicht im Gelände aufgenommen, hingegen am 18. Oktober vom Gegenhang aus fotografisch dokumentiert.

32 FAN-Agenda 1/2024





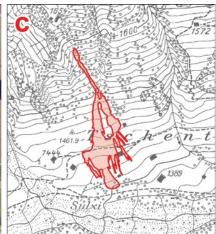


Abbildung 5: Hangmure Tschentetal/Egerle, Adelboden (BE). a) Originalbild vom 18.10.2011 mit Passpunkten, b) Originalbild mit digitalisiertem Murgang-Perimeter, c) Detailkarte mit projiziertem Murgang-Perimeter. Aufgrund der fein verästelten Geometrie der Ablagerung wäre eine Kartierung im Gelände ausgesprochen aufwendig gewesen (Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Bern, swisstopo).

Spitzhorn Felsrutsch

Gstaad (BE), 2017

Im Oktober 2017 bewegte ein Felssturz ein Volumen von ca. 50'000 m³ vom Westhang des Spitzhorns talwärts. Das Ereignis ereignete sich in einer einzigen Hauptrutschung, der einzelne Felsstürze vorausgingen, was den Sicherheitsverantwortlichen die Möglichkeit gab, alle Zufahrten für Fahrzeuge und Fußgänger zu sperren und so Todesopfer zu vermeiden. Dennoch verursachte der Felssturz erhebliche Schäden am Wald, an der Stromleitung und an den Wanderwegen. Um das betroffene Gebiet genau zu beurteilen, wurde ein bei einer Feldbegehung aufgenommenes Schrägbild verarbeitet. Trotz der Schwierigkeiten, Passpunkte zu finden, ermöglichte die Georeferenzierung eine angemessene Analyse des Ereignisses.

Drohnenbilder

Seit einigen Jahren werden Drohnen zunehmend zur Dokumentation der aktuellen Landschaft eingesetzt, und zwar sowohl qualitativ (z. B. zu Ausbildungs- oder Tourismuszwecken) als auch quantitativ, um zwei- oder dreidimensionale kartografische Informationen zu erhalten. Die 3D-Rekonstruktion aus Drohnenbildern mit Hilfe der Photogrammetrie ist sicherlich eine faszinierende und wertvol-

le Option, und die gewonnenen Daten bieten sehr interessante Präzisionswerte.

Vor kurzem wurde die Orthorektifizierung (d.h. die Projektion eines Bildes auf eine georeferenzierte Karte) in die *image2world*-Software implementiert, und derzeit laufen Untersuchungen und Tests, um festzustellen, ob diese Funktion auch im Bereich der Drohnenbilder eingesetzt werden kann. Es geht um die Frage, in welcher Umgebung und für welche Art von Situationen die Orthorektifizierung einzelner Drohnenbilder angewandt werden kann, so dass auch in diesem Bereich schnell, effizient und kostengünstig quantitative Informationen gewonnen werden können.

Schlussfolgerungen

Das WSL Monoplotting Tool und sein Nachfolger image2world haben sich als äusserst geeignetes Werkzeug erwiesen, um die Auswirkungen historischer und aktueller gravitativer (Erdrutsche, Lawinen) und hydrologischer (Murgänge, Überschwemmungen) Naturgefahren, die vor Ort kaum kartierbar sind, zu georeferenzieren und zu dokumentieren.

Bei aktuellen Naturereignissen besteht eine der Hauptanwendungen darin, die Auswirkungen solcher Ereignisse in Echtzeit zu dokumentieren und zu rekonstruieren, bevor

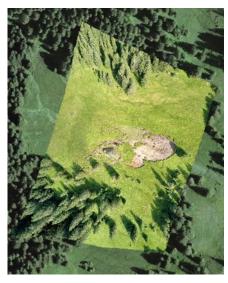


Abbildung 7: Orthorektifiziertes Drohnenbild vom August 2021 eines Erdrutsches im Gebiet Furggelenstock: eine effektive Anwendung der Orthorektifizierung (Florian Lustenberger, WSL).

Schäden und Spuren in der Landschaft beseitigt werden oder verschwinden.

Die Möglichkeit der Georeferenzierung von Bildern, ohne unbedingt Informationen über die Angaben und den Standort der Kamera zu kennen, ermöglicht die Verwendung von Schrägluftbildern, die von Helikoptern oder Drohnen aufgenommen werden, so dass Naturereignisse an schwer oder gar nicht zugänglichen Orten dokumentiert werden können

Derzeit ist die Version 2.0 des WSL Monoplotting Tools (MPT 2.0) auf der Projekt-

Agenda FAN 1/2024 33

website (www.wsl.ch/monoplotting) verfügbar und kann für Forschungszwecke frei verwendet werden. Für den professionellen Einsatz bietet die Firma *image2world GmbH* (i2w.ch) die neuste Version der Software und die entsprechenden Schulungen an. Die Georeferenzierung von Bildern wird auch als Dienstleistung angeboten: Auf Anfrage übernimmt *image2world* die Georeferenzierung und stellt ein Projekt zur Verfügung, das die Kartierung direkt auf dem gewünschten Bild und die Speicherung der Daten in verschiedenen Formaten ermöglicht, wobei ESRI Shapefile nativ unterstützt werden.

Danksagung

Ein grosses Dankeschön an Ueli Ryter (Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Bern) für die Bereitstellung der Beispiele aus seinem Büro und ein besonderer Dank an Christian Ginzler für die Korrektur des Textes.

Quellen

Bozzini, C.; Conedera, M.; Krebs, P.; 2012. A New Monoplotting Tool to Extract Georeferenced Vector Data and Orthorectified Raster Data from Oblique Non-Metric Photographs. International Journal of Heritage in the Digital Era, Multi Science Publishing, Volume 1, Number 3 / September 2012, pp. 499-518.

Conedera, M.; Bozzini, C.; Ryter, U.; Bertschinger, T.; Krebs, P.; 2018. Using the Monoplotting Technique for Documenting and Analyzing Natural Hazard Events. IntechOpen, November 2018., pp. 107 123,

Conedera, M.; Bozzini, C.; Scapozza, C.; Rè, L.; Ryter, U.; Krebs, P.; 2013. Anwendungspotenzial des WSL-Monoplotting-Tools im Naturgefahrenmanagement. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Vol. 164, No. 7, pp. 173-180, Juli 2013

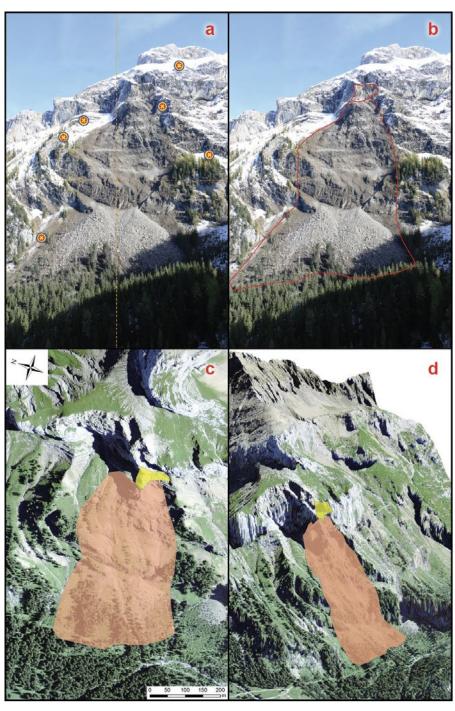


Abbildung 6: Spitzhorn-Bergsturz (Gstaad, 2017). (a) Original-Schrägbild mit Passpunkten. (b) Digitalisierung der Abbruch- und Ablagerungszone auf dem Original-Schrägbild. (c) Projektion der digitalisierten Konturen auf das aktuelle Orthofoto. (d) Projektion und 3D-Ansicht der digitalisierten Bereiche in ESRI ArcScene. Gelbe Konturen = Ablösezone; orange Konturen = Transit- und Ablagerungszone (Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Bern, swisstopo).

Waldhäusl, P.; Hochstöger, F.; 1990. Monoplotting: Einzelbildauswertung für die Beobachtung von Veränderungen auf der Geländeoberfläche. In: VI. Internationale Geodätische Woche Obergurgl, Institut für Geodäsie, Innsbruck, pp. 137-154.