

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 164 (2013)

**Heft:** 7

**Artikel:** Anwendungspotenzial de WSL-Monoplotting-Tools im Naturgefahrenmanagement

**Autor:** Conedera, Marco / Bozzini, Claudio / Scapozza, Cristian

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097617>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Anwendungspotenzial des WSL-Monoplotting-Tools im Naturgefahrenmanagement

**Marco Conedera** Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Forschungsgruppe Insubrische Ökosysteme (CH)\*  
**Claudio Bozzini** Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Forschungsgruppe Insubrische Ökosysteme (CH)  
**Cristian Scapozza** Istituto scienze della Terra, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (CH)  
**Lorenza Rè** Sezione forestale cantonale ticinese (CH)  
**Ueli Ryter** Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren (CH)  
**Patrik Krebs** Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Forschungsgruppe Insubrische Ökosysteme (CH)

## Application potential of the WSL monoplotting tool for natural hazard management

Historical or present oblique terrestrial photographs documenting natural disasters are abundant in archives, may be easily shot nowadays, and often depict very informative details. In most cases, however, they can hardly be georeferenced, what prevents a systematic and technical use of such material for analyzing and documenting the disaster-induced damage traces. The monoplotting software developed by the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL) in Bellinzona has been conceived to meet these needs and allows georeferencing and orthorectifying ordinary individual photographs in order to produce georeferenced vector data by drawing them directly on the pictures and exchanging them with traditional GIS-Systems. In the present contribution we report on the results of selected applications of the monoplotting tool showing the suitability of the tool for the geographical processing of historical and present natural events, which are difficult to map in the field.

**Keywords:** event documentation, natural disasters, avalanches, debris flow, terrestrial pictures, georeferencing, GIS

**doi:** 10.3188/szf.2013.0173

\* Via Belsoggiorno 22, CH-6500 Bellinzona, E-Mail marco.conedera@wsl.ch

Naturereignisse wie Lawinen, Rutschungen, Steinschlag, Hochwasser und Murgänge gehören zu einem Gebirgsraum wie den Alpen. Zur Gefahr werden sie durch die Bedrohung von Menschenleben und Sachwerten (Frey et al 2001).

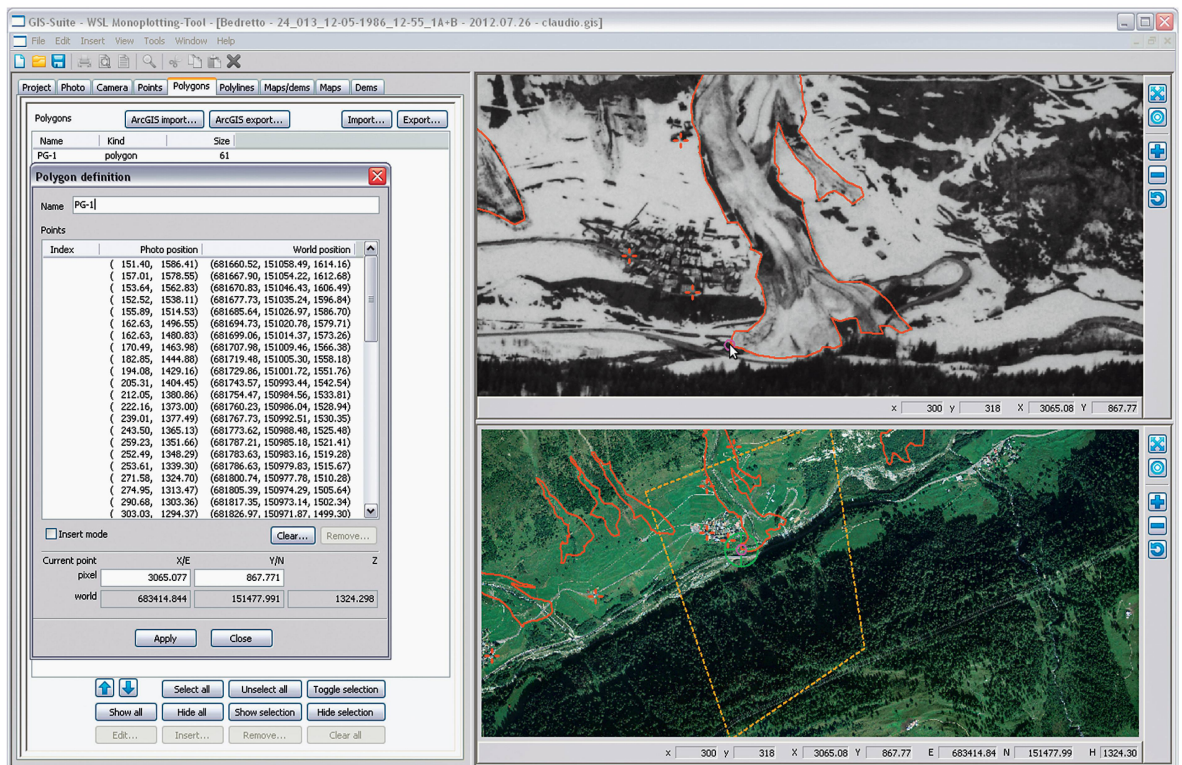
Die Fähigkeit von Politik und Gesellschaft, mit Naturgefahren umzugehen, ist deshalb im Alpenraum von zentraler Bedeutung (Hollenstein & Hess 2011). Nach Klinke & Renn (2011) ist ein systematischer Ansatz des organisatorischen und institutionellen Lernens die Grundvoraussetzung einer kollektiven und nachhaltigen Bewältigung von Naturrisiken. Dazu gehört die systematische Erfassung und Aufarbeitung aktueller und früherer Ereignisse. Eine korrekte Ereignisdokumentation bildet in der Tat die unerlässliche Grundlage, um Lehren aus einem Ereignis zu ziehen (z.B. Gefahrenzonenplanung, Interventionsplanung, Dimensionierung von Schutzbauten; Planalp 2006).

Ausgehend von diesen Überlegungen sind in den letzten Jahren verschiedene Initiativen ergriffen worden, um den Dokumentationsprozess zur Spurensicherung nach Naturereignissen zu profes-

sionalisieren, zu systematisieren und zu vereinheitlichen (Hübl et al 2006, Planalp 2006).

Bei der systematischen Aufarbeitung der Naturgefahrenereignisse hat sich gezeigt, dass in einigen Fällen Probleme entstehen können, so zum Beispiel wenn:

- historische Ereignisse aufgearbeitet werden sollen. In vielen Fällen sind Informationen über frühere Ereignisse nur noch in der Erinnerung lokaler Experten und Einwohner oder in Form von Fotografien vorhanden. Bei älteren Ereignissen (erste Hälfte des 20. Jahrhunderts) fehlt die präzise und georeferenzierte kartografische Aufnahme der Ereignisspuren und Schadenperimeter meistens;
- schwere Schadenereignisse eintreten. Oft muss man sich nach Schadenereignissen vorrangig um Rettungsmassnahmen und die provisorische Wiederherstellung wichtiger Kommunikations- und Verbindungsinfrastrukturen kümmern. In solchen Fällen können wichtige Schadensspuren schnell verschwinden. Eine kurzfristig anberaumbare, rasch durchführbare und gezielte fotografische Dokumentation ist dann die einzige praktikable Lösung;



**Abb 1** Das Hauptfenster des WSL-Monoplotting-Tools. Rechts oben das Fenster für die Visualisierung und die Navigation auf dem Bild; unten rechts das Fenster für die Visualisierung und die Navigation auf dem Orthofoto (oder auf Landeskarten). Links das Fenster zur Eingabe und Verwaltung der Basisdaten, wobei derzeit das Fenster zur Definition der Polygone aktiviert ist. Wenn das System kalibriert ist, sind beide Bilder georeferenziert, womit sich beide Mauszeiger synchron bewegen. Gleichzeitig werden in der Zeile am unteren Rand der Fenster die entsprechenden Pixel- (Bild oben) und Landeskoordinaten (Bild unten) angegeben. Das gelbe Viereck auf dem Orthofoto grenzt das oben sichtbare Gebiet ab.

- zahlreiche (Klein-)Ereignisse gleichzeitig, Ereignisse in schwer zugänglichen Gebieten oder solche mit extrem kurzlebigen Spuren erfasst werden sollen. Oft treten Schadenereignisse in schwer zugänglichem Gelände auf und hinterlassen kurzlebige Spuren (z.B. kleine Nassschneelawinen). In diesen Fällen hilft meistens nur eine schnelle, gezielte fotografische Dokumentation, die im Fall von unzugänglichem Gelände auch aus der Luft (z.B. Helikopter) gemacht werden kann.

Die in den geschilderten Fällen entstandenen Fotografien zeigen wertvolle Details, waren bislang aber kaum georeferenzierbar, da sie schräg aufgenommen worden sind.

In den letzten Jahren wurde von der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Bellinzona eine Software entwickelt, die die Georeferenzierung und Orthorektifizierung von Schrägbildern, die Digitalisierung von Polygonen oder anderen vektoriellen Elementen und das Austauschen der geografischen Daten mit den gebräuchlichen GIS-Systemen ermöglicht. In diesem Artikel stellen wir die als WSL-Monoplotting-Tool bezeichnete Software vor und diskutieren ihr Anwendungspotenzial im Bereich der Ereignisdokumentation von Naturgefahrenprozessen anhand konkreter Beispiele aus den Kantonen Tessin und Bern.

## Das WSL-Monoplotting-Tool

Der Begriff Monoplotting geht auf Makarovič (1973) zurück und bezieht sich auf ein Verfahren der Einbildmessung, bei dem die Bildstrahlen eines Bildes mit einem digitalen Höhenmodell verschnitten werden. Im Unterschied zur klassischen Stereofotogrammetrie, bei der zum Lösen des Rekonstruktionsproblems Vorwärtsschnitte durch zwei Aufnahmen erforderlich sind, arbeitet man beim Monoplotting mit dem Schnitt der einzelnen Bildstrahlen mit dem digitalen Geländemodell. Praktisch gesehen muss man in einem Monoplotting-System das Bild, den Aufnahmezeitpunkt und das Geländemodell so synchronisieren, dass ein aus der Kamera kommender und durch einen Bildpunkt gehender Strahl das Geländemodell beim entsprechenden reellen Punkt schneidet. Diese Kalibrierung ermöglicht die dreidimensionale Auswertung von Einzelbildern (Waldhäusl & Hochstöger 1990).

Das WSL-Monoplotting-Tool besteht aus einer benutzerfreundlichen und intuitiven Oberfläche zur Einrichtung des Systems (z. B. Kamerakalibrierung) und zur Digitalisierung der gewünschten Objekte oder Geländeelemente. Minimalanforderungen an das System sind:

- Bild in digitaler Form (original oder eingescannt) von guter Qualität und Auflösung. Die Bild-

eigenschaften, die für gute Qualität sprechen, sind eine Kombination zwischen Anzahl Pixeln und abgedeckter Geländefläche (inkl. Geländeheterogenität). Hoch aufgelöste Bilder, die riesige Flächen abdecken, können für die Zwecke des Monoplotting unter Umständen weniger geeignet sein als Detailbilder mit niedriger Auflösung.

- Georeferenziertes kartografisches Dokument. Geeignete Referenzdokumente sind moderne Landeskarten (LK 1:25000), Ortspläne (1:1000) sowie hoch aufgelöste Orthofotos des vom Schrägbild abgedeckten Geländes.
- Genügende Anzahl (vier oder mehr) Passpunkte. Passpunkte sind eindeutig erkennbare Landschaftselemente (Bauten, Felssporne, Stammfuss von Einzelbäumen usw.), deren Lage sowohl auf dem Schrägbild wie auch auf einer georeferenzierten Karte oder einem Orthofoto (Projektionskoordinaten) genau bekannt und genau geblieben ist (keine Geländeänderung). Sie dienen dem System als Bezugsinformation, um die Kamera zu kalibrieren.
- Digitales Höhenmodell (DHM) des im Bild repräsentierten Gebietes. Die Auflösung des DHM

muss so hoch wie möglich und vor allem den zu digitalisierenden Objekten angepasst sein. Sie sollte aber auf keinem Fall unter 25 m × 25 m liegen. Zu prüfen ist auch, ob zwischen dem Zeitpunkt der Bildaufnahme und der DHM-Messung Massenbewegungen stattgefunden haben, die die Übereinstimmung von DHM und Bildgelände beeinträchtigen.

- Leistungsfähige Hardware. Das Programm läuft derzeit auf Windows-Rechnern mit 32 bit (XP oder 7); Betriebssysteme mit 64 bit werden durch Virtualisierungssoftware wie VirtualBox oder VMware unterstützt. Empfohlen wird zudem ein Bildschirm mit guter Auflösung (mindestens SXGA+, d.h. 1400 × 1050).

Die aktuelle Version des Tools besteht bereits aus vielen funktionsfähigen Modulen (Abbildung 1). Im Hauptfenster findet der Benutzer zwei Sektionen für die Navigation im Originalbild beziehungsweise im entsprechenden kartografischen Raum. Verschiedene Untermenüs erlauben die Eingabe der Systemdaten (z.B. DHM, Kameraparameter, falls bekannt Kamerastandort, Passpunkte), die Systemkalibrierung und das Aktivieren von Editierungsfunktionen (Digitalisieren von Punkten, Linien und Polygonen; Importieren oder Exportieren von Shapefiles usw.), die sowohl auf das Schrägbild als auch den kartografischen Teil angewendet werden können.

Das Kalibrieren des Systems erfolgt halbautomatisch, ausgehend von den Passpunkten (Abbildung 1). Grundsätzlich ist die genaue Position bei der Aufnahme des Fotos zu rekonstruieren, d.h. Position und Ausrichtung der Kamera sowie Brennweite, Bildzentrum und Verzerrungsparameter der Linsen. Manchmal ist zudem eine einfache Interaktion nötig, um die optimale Kalibrierung zu finden.

Nach der Kalibrierung des Systems wird von der Software automatisch und flächendeckend die Beziehung jeder Bildkoordinate zur reellen Koordinate (z.B. schweizerische Landeskoordinatensystem CH-1903) berechnet, sodass auf der Tool-Oberfläche das Schrägbild und die Karten oder Orthofotos simultan und synchronisiert visualisiert werden können (Abbildung 1).

Das georeferenzierte Bild kann danach als geografische Karte verwendet werden. Objekte von Interesse können somit digitalisiert beziehungsweise visualisiert werden. Vektorielle Elemente, die auf dem Bild digitalisiert wurden, können exportiert und in herkömmlichen geografischen Informationssystemen weiterbenutzt werden. Weitere Informationen zum WSL-Monoplotting-Tool finden sich in Bozzini et al (2011, 2012).

Prozess/Ereignis	Kanton	Ort	Flurname	Ereignisdatum
Rutschung	TI	Airolo	Sasso Rosso	28.12.1898
Hangmure	BE	Adelboden	Tschentetal/Egerle	10.10.2011
Hochwasser	TI	Olivone	Sommacona	25.9.1927
Wiederholte Murgänge	BE	Brienz/Schwanden	Lambach	31.5.1896 11./12.6.1896 20.–23.8.1896
Lawenniedergänge	TI	Villa Bedretto	Bedrettotal	12.5.1986
Lawine	BE	Innertkirchen	Gental/Zylweng	Januar 2012

Tab 1 Die ausgewählten sechs Fallstudien.

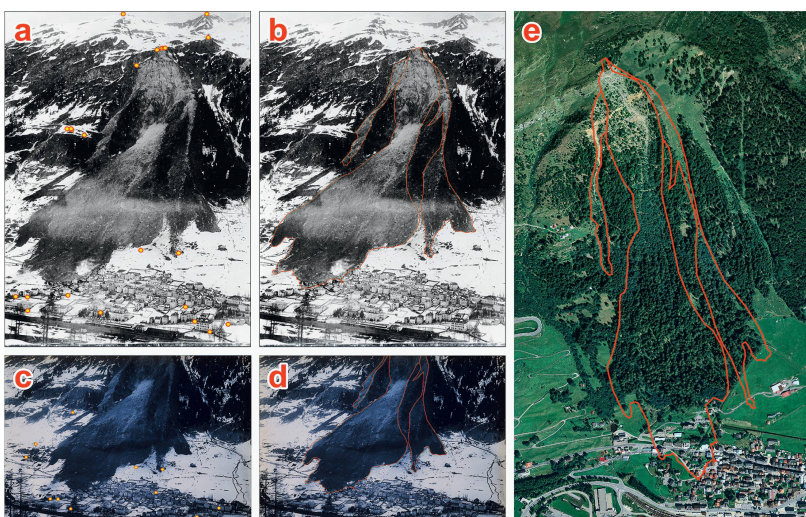


Abb 2 Fallbeispiel Rutschung Sasso Rosso, Airolo (TI) – Bild vom 28.12.1898. a) Gross-Originalbild mit Passpunkten, b) Gross-Originalbild mit digitalisiertem Rutschungsperimeter, c) Detail-Originalbild mit Passpunkten, d) Detail-Originalbild mit digitalisiertem Perimeter, e) Orthofoto mit digitalisiertem Perimeter. Der obere Teil des Ablagerungsgebietes konnte nicht mehr für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zurückgewonnen werden und ist heute von einem Schutzwald bestockt. Dies wird aber erst nach der Projektion des Rutschungsperimeters auf das aktuelle Orthofoto (e) eindeutig sichtbar.

## Anwendungsbeispiele

In den Jahren 2010 bis 2012 haben die Abteilung Naturgefahren des Amtes für Wald des Kantons



Abb 3 Fallbeispiel Rutschung Sasso Rosso, Airolo (TI) – Bild vor dem 28.12.1898. Projektion des Ablagerungsperimeters der Rutschung auf das historische Bild. Gut zu sehen sind die Gebäude, die durch die Rutschung verschüttet beziehungsweise zerstört wurden.

Bern und der Forstdienst des Kantons Tessin (Sezione forestale cantonale) zusammen mit der WSL die Eignung des WSL-Monoplotting-Tools für die Erfassung von Naturereignisspuren getestet. Von den insgesamt 19 untersuchten Ereignissen präsentieren wir hier deren sechs. Die Fallstudien wurden so ausgewählt, dass sie eine möglichst breite Palette von Naturereignistypen und möglichen Schwierigkeiten abdecken (Tabelle 1).

#### Rutschung vom Sasso Rosso – Airolo (TI)

Der Sasso Rosso ob Airolo war im 19. Jahrhundert als instabiles Gebiet bekannt und von den eidgenössischen und kantonalen Behörden entsprechend unter Beobachtung gesetzt worden. Seine Instabilität beruhte auf der Abnahme des Gletscherdruckes seit der letzten Eiszeit. Nach einer unruhigen Phase im Sommer 1898 ereigneten sich am 18. Dezember 1898 zwei erste kleine Rutschungen,

gefolgt von grösseren Abstürzen am 26. Dezember. Dank dieser Vorwarnung haben die Gemeindebehörden die Schule schliessen und den bedrohten Dorfteil evakuieren können. In der Nacht vom 27. auf den 28. Dezember gingen immer häufiger Bergstürze nieder, bis in den frühen Morgenstunden das Hauptereignis kam. Insgesamt stürzten 500 000 m<sup>3</sup> auf den Dorfteil San Carlo. Gemäss dem digitalisierten Perimeter (Abbildung 2) kann nun die Ablagerungsfläche der Rutschung auf rund 425 000 m<sup>2</sup> geschätzt werden. Die Projektion des digitalisierten Rutschungsperimeters auf ein historisches Bild (Abbildung 3) erlaubt, den ungefähren Standort der vom Ereignis zerstörten Gebäude – ein Hotel, elf Wohnhäuser und 15 Ställe – zu rekonstruieren.

#### Hangmure Tschentetal/Egerle – Adelboden (BE)

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 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 abgelagerte. 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 (Abbildung 4).

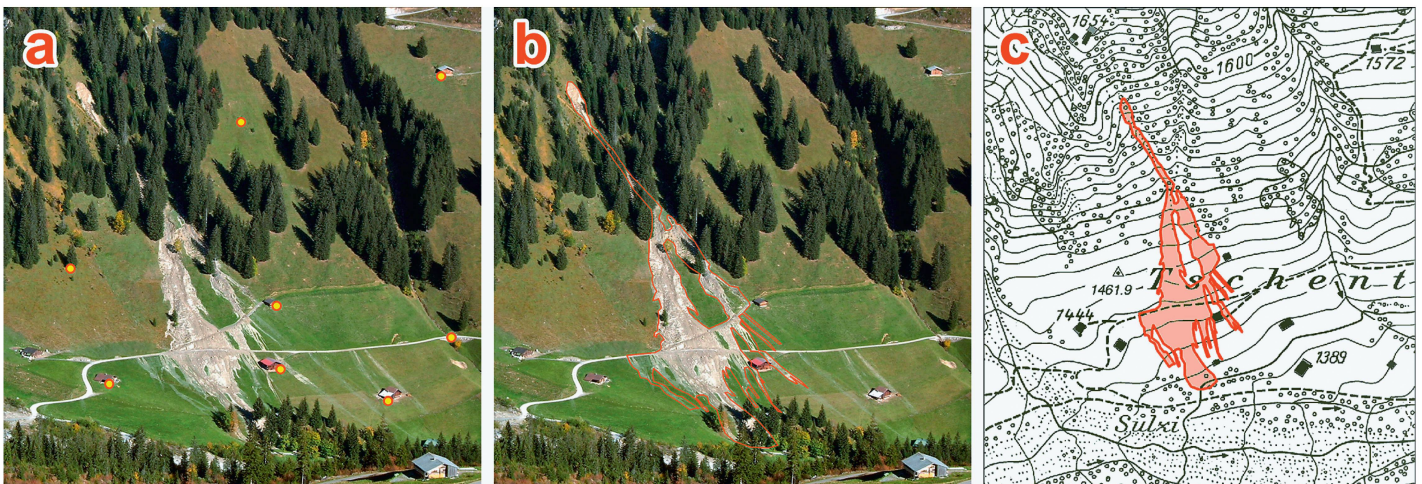


Abb 4 Fallbeispiel Hangmure Tschentetal/Egerle, Adelboden (BE). a) Originalbild vom 18.10.2011 mit Passpunkten, b) Originalbild mit digitalisiertem Murgang-Perimeter, c) Detailkarte mit projiziertem Murgang-Perimeter. Aufgrund der fein verästelten Geometrie der Ablagerung wäre eine Kartierung im Gelände ausgesprochen aufwendig gewesen.



**Abb 5** Fallbeispiel Hochwasser in Sommascona, Olivone (TI). a) und b) Originalbilder vom September 1927 mit Passpunkten, c) und d) Originalbilder mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter, e) Orthofoto mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter, f) Projektion des Ablagerungsperimeters auf eine aktuellen Aufnahme. 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.

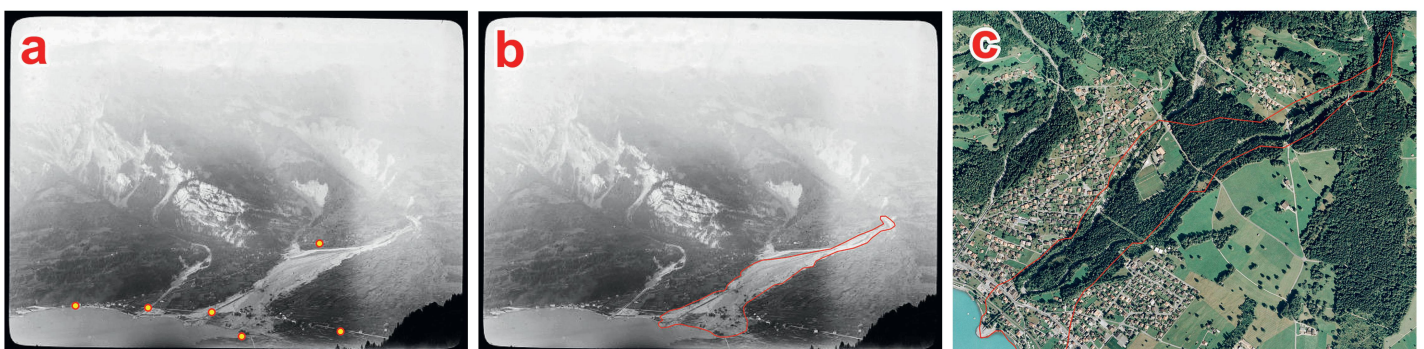
### Hochwasser in Sommascona – Olivone (TI)

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 einer starken und ausdauernden Wasserhose 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 (Abbildung 5).

### Murgänge Lammbach – Brienz/Schwanden (BE)

Die Brienzler 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 300000 m<sup>3</sup> 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 6) ermöglichte es, die Murgangablagerungen exakt einzugrenzen.



**Abb 6** 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. Die grosse Herausforderung bei dieser Auswertung bestand darin, Passpunkte zu finden, die 116 Jahre nach der Aufnahme des Fotos noch immer vorhanden sind.



**Abb 7** Lawinenniedergänge Bedrettotal, Villa Bedretto (TI). a) Originalbild vom April 1986 mit Passpunkten, b) Originalbild mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter, c) Orthofoto mit digitalisiertem Ablagerungsperimeter. Trotz Flugaufnahme konnte der theoretische Kamerastandort bestimmt und das Bild entsprechend georeferenziert werden.

### Lawinenniedergänge Bedrettotal – Villa Bedretto (TI)

Der April 1986 schlug im Kanton Tessin niederschlagsmässig alle Rekorde: 25 Tage ununterbrochen Regen mit zeitweisem Starkregen und aussergewöhnlichen Niederschlagsmengen für die Saison, so 1167 mm an der Messstation von Camedo und 667 mm in Locarno-Monti. In den letzten Tagen des Monats fielen die Niederschläge in Form von Schnee. In den alpinen Tälern des oberen Tessins kam es zu 3 bis 5 Metern Neuschnee, was in den folgenden Tagen zu unzähligen Lawinenniedergängen führte. Wegen der Unmenge von Ereignissen und der Kurzlebigkeit der Spuren entschied sich der Forstdienst, die Lawinenniedergänge vom Helikopter aus systematisch zu erfassen. Abbildung 7 zeigt die aufgenommene Dokumentation anhand eines Ausschnitts aus dem Bedrettotal.

### Lawine Gental/Zylweng – Innertkirchen (BE)

Nach dem warmen November 2011 erfolgte das Einschneien vielerorts auf nicht gefrorene Böden; die mächtige Schneedecke verhinderte zudem das Vordringen der Kälte bis zum Boden. Diese Voraussetzungen führten bereits im Früh- und Hochwinter zu ausgesprochenen Gleitschneeverhältnissen, wie sie üblicherweise erst im Frühjahr auftreten. Im ganzen Berner Oberland trat unter der Auflast der gewaltigen Schneedecke intensives Schneegleiten auf, und es bildeten sich unzählige Lawinen.

Am 11. Januar 2012 führte die Abteilung Naturgefahren einen Rekognoszierungsflug durch, um

sich einen Überblick zu verschaffen. Die eindrücklichste Gleitschneelawine ist im Gental unter dem Balmeregghorn auf 1940 m ü. M. angerissen. Die mit einer digitalen Spiegelreflexkamera aus dem Helikopter dokumentierte Lawine war 140 m breit und ist über die steilen Hänge und Felsbänder bis ins Gentalwasser (1240 m ü. M.) geflossen, wo sie eine 370 m breite Ablagerung bildete (Abbildung 8).

### Zeitaufwand und erreichte Genauigkeit

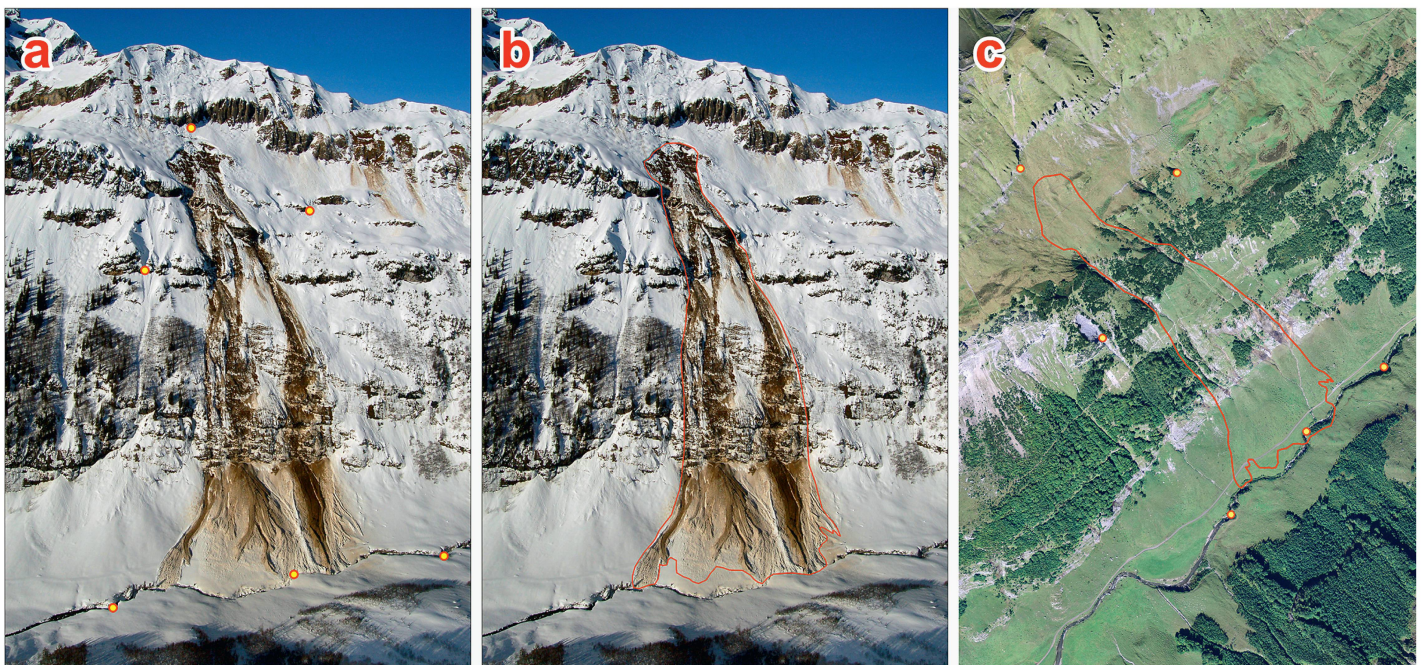
Die bis jetzt gewonnene Erfahrung zeigt, dass der Zeitaufwand sehr stark von der Qualität und dem Alter des Bildes, von der Grösse und Form des zu digitalisierenden Objektes (lokaler Murgang bis Hochwasser im Haupttal) und von den vorhandenen Vorinformationen (insbesondere Angaben über den Aufnahmestandort) abhängt. Viele Schrägbilder können mit dem Monoplotting-Tool innert Stunden verarbeitet werden (Tabelle 2). Die zeitlich anspruchsvollen Arbeitsschritte sind das Vorbereiten der Grundlagen (DHM, Kartengrundlagen, Orthofotos des entsprechenden Gebietes) und die Definition geeigneter Passpunkte.

Tabelle 3 fasst für jedes behandelte Fallbeispiel die theoretisch erreichte Genauigkeit zusammen. Der theoretische Fehler wird aus dem Kalibrierungsergebnis ermittelt, indem die Abweichung zwischen den realen Koordinaten und den Koordinaten aus dem Monoplotting-System für jeden Passpunkt gerechnet wird. In den hier präsentierten Fallstudien bewegt sich dieser theoretische Fehler im Bereich von Dezimetern bis wenigen Metern.

Neben der Qualität des Bildes (insbesondere seiner Auflösung) hängt die Genauigkeit auch von der DHM-Auflösung und von der Anzahl, der Eindeutigkeit und der Verteilung der Passpunkte ab. Im besten Fall, d.h. in Gebieten mit hoch aufgelöstem DHM und vielen, einfach erkennbaren (z.B. Gebäude) und regelmässig verteilten Passpunkten, ist es problemlos möglich, Fehler von weniger als einem Meter zu erreichen. Wenn die Passpunkte homogen verteilt sind,

Arbeitsschritt	Zeitaufwand in Minuten		
	Min.	Mittel	Max.
Vorbereiten der Grundlagen (DHM, Karten, Orthofoto, Schrägbild)	10	20	30
Auswahl der Passpunkte	10	30	120
Kamerakalibrierung	5	15	30
Digitalisierung von einzelnen Objekten	5	15	20
Import/Export	5	5	5
Total	35	90	205

**Tab 2** Durchschnittlicher Zeitaufwand bei der Bildverarbeitung.



**Abb 8** Lawine Gental/Zylweng, Innertkirchen (BE). a) Originalbild vom 11.1.2012 mit Passpunkten, b) Originalbild mit digitalisiertem Lawinenperimeter, c) Orthofoto mit digitalisiertem Lawinenperimeter und Passpunkten. Da im Bereich des Originalbildes weder Hütten noch andere Bauten oder technische Anlagen vorhanden waren, mussten Landschaftselemente als Passpunkte gewählt werden. Diese mussten entweder auf der Karte (PK25, Übersichtsplan) oder auf dem Orthofoto deutlich zu erkennen sein.

Ereignis	Ort	Flurname	Bildqualität	Anzahl Passpunkte	Theoretischer 3D-Fehler (m)		
					Min.	Mittel	Max.
Rutschung	Airolo	Sasso Rosso	Mittel	20	0.2	0.9	3.0
Hangmure	Adelboden	Tschental/Egerle	Mittel	5	0.3	1.0	2.3
Hochwasser	Olivone	Sommascona a)	Hoch	8	0.1	0.9	2.4
		Sommascona b)	Hoch	13	0.2	0.4	0.9
Wiederholte Murgänge	Brienz/Schwanden	Lambach	Tief	6	0.2	2.0	6.4
Lawinnenniedergänge	Villa Bedretto	Bedrettotal	Mittel	8	0.3	0.6	1.2
Lawine	Innertkirchen	Gental/Zylweng	Mittel	6	2.6	4.6	6.9

**Tab 3** Theoretischer Fehler in den Fallstudien.

steigt auch die Chance, dass die reellen Koordinaten des ganzen im Bild enthaltenen Geländes mit einer Genauigkeit gerechnet werden können, die im Bereich des theoretischen Fehlers der Passpunkte liegt.

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 Geländeänderungen dar, die in der Zeit zwischen der Bildaufnahme und der DHM-Messung erfolgt sind. Diese können sowohl durch bauliche Veränderungen als auch durch Naturereignisse entstehen. Im Fall von Rutschungen oder Murgängen dürfen mittels des Monoplotting-Ansatzes natürlich nur die unberührten Randgebiete, d.h. Anriss- und Ablage-

zungsgrenzen, georeferenziert werden (siehe z.B. Abbildung 4).

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.

## Schlussbemerkungen

Das WSL-Monoplotting-Tool hat sich als geeignetes Instrument erwiesen für die geografische Erfassung von historischen wie auch aktuellen Naturereignissen, deren Kartierung im Gelände schwierig ist. Insbesondere können auch über 100 Jahre alte Ereignisse (Sasso Rosso [Airolo] und Lambach [Brienz/Schwanden]), deren Spuren im Gelände verschwunden sind, dank qualitativ guten historischen Schrägbildern rekonstruiert werden. Wo diese Informationen genau genug sind, können somit Gefahrenzonen verifiziert beziehungsweise angepasst werden.

Das Tool ist flexibel und erlaubt es, nicht nur Bilder aus verschiedenen Epochen und Blickpunkten für die Erfassung des gleichen Objekts zu benutzen, sondern auch geografische Informationen auf historische Bilder zu projizieren. Dank diesen Eigenschaften bietet es sich an, Schrägbilder auch für die Aufnahme künftiger Ereignisse zu nutzen, so als Haupterhebungsinstrument oder als Hilfsmittel für detaillierte Felderhebungen. Existierende Anleitungen zur Dokumentation von Naturereignissen (z.B. Planalp 2006) könnten entsprechend ergänzt werden. Das Monoplotting-Tool kann auch für andere Anwendungen genutzt werden, so zum Beispiel für das Monitoring von Zerfallsprozessen an historischen Gebäuden (Nocerino et al 2012).

Der theoretische Kamerastandort kann auch für Schrägaufnahmen aus der Luft (z.B. aus dem Helikopter) ermittelt werden. Dies ergibt neue Möglichkeiten für die Erfassung von Naturgefahren in schwer zugänglichem Gelände. Wichtig ist, zu wissen, dass der theoretische Kamerastandort nicht unbedingt mit dem realen Standort der Kamera zur Zeit der Aufnahme übereinstimmt, das System dennoch mehr als befriedigende Resultate liefert.

Das WSL-Monoplotting-Tool ist bei den Autoren als funktionsfähiger Prototyp verfügbar. Die bisherige Erfahrung zeigt, dass das Tool stabil ist und dass auch Anfänger sehr schnell selbstständig damit arbeiten können. ■

*Eingereicht: 6. Februar 2013, akzeptiert (mit Review): 18. April 2013*

## Literatur

- BOZZINI C, CONEDERA M, KREBS P (2011)** Ein neues Tool zur Georeferenzierung und Interpretation von terrestrischen Schrägbildern. *Wabern: Bundesamt Landestopografie, Newsletter e-geo.ch* 27. pp. 16–17.
- 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. *Int J Herit Digit Era* 1: 499–518.
- FREY W, WILHELM C, KRUMMENACHER B (2001)** Naturgefahren – vom Einzelbild zur Gesamtbetrachtung. *Schweiz Z Forstwes* 152: 199–203. doi: 10.3188/szf.2001.0199
- HOLLENSTEIN K, HESS J (2011)** Integrales Management von gravitativen Naturrisiken in der Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 162: 454–463. doi: 10.3188/szf.2011.0454
- HÜBL J, KIENHOLZ H, LOIPERSBERGER A, EDITORS (2006)** DOMODIS: Dokumentation alpiner Naturereignisse. *Klagenfurt: Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent*. 44 p.
- KLINKE A, RENN O (2011)** Nachhaltiger Umgang mit natürlichen Risiken: antizipativ, integrativ und interdisziplinär. *Schweiz Z Forstwes* 162: 442–453. doi: 10.3188/szf.2011.0442
- MAKAROVIČ B (1973)** Digital Monoplotters. *ITC J* 4: 583–600.
- NOCERINO E, MENNA F, REMONDINO F (2012)** GNSS/INS aided precise re-photographing. doi: 10.1109/VSMM.2012.6365930
- PLANALP (2006)** Dokumentation von Naturereignissen – Feldanleitung. *Bern: Nationale Plattform Naturgefahren*. 64 p.
- WALDHÄUSL P, HOCHSTÖGER F (1990)** Monoplotting: Einzelbilddauswertung für die Beobachtung von Veränderungen auf der Geländeoberfläche. In: *VI. Internationale Geodätische Woche Obergurgl*. Innsbruck: Institut Geodäsie. pp. 137–154.

## Anwendungspotenzial des WSL-Monoplotting-Tools im Naturgefahrenmanagement

Schrägbilder von Naturgefahrenereignissen stehen in grosser Anzahl in Archiven zur Verfügung, können heutzutage schnell erstellt werden und geben meistens sehr wertvolle Details wieder. Für die Aufnahme und Sicherung von Schadensspuren wurden sie bislang allerdings kaum systematisch genutzt, weil sie nicht georeferenzierbar waren. Die von der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Bellinzona entwickelte Monoplotting-Software erlaubt die Georeferenzierung und Orthorektifizierung von Schrägbildern, die Digitalisierung von Polygonen und anderen vektorialen Elementen sowie den Austausch der geografischen Daten mit gebräuchlichen GIS-Systemen. In diesem Beitrag werden ausgewählte Fallstudien vorgestellt, in welchen Naturereignisse mit dem Tool erfolgreich ausgewertet worden sind. Die Software hat sich als geeignetes Instrument erwiesen für die geografische Erfassung von früheren wie auch aktuellen Naturereignissen, die sich nicht einfach im Gelände kartieren lassen.

## Potentiel d'utilisation du «WSL-Monoplotting-Tool» dans le cadre de la gestion des dangers naturels

Des photos obliques terrestres d'événements liés aux dangers naturels sont disponibles en grand nombre dans les archives et peuvent aujourd'hui être prises facilement. Elles fournissent la plupart du temps de très précieux détails. Jusqu'à présent, elles n'ont pas été utilisées systématiquement pour l'inventaire et la maîtrise des dégâts parce qu'elles n'étaient pratiquement pas géoréférencées. Le logiciel de monoplotting (monophotogrammétrie) développé par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL à Bellinzona permet le géoréférencement et l'orthorectification de photos obliques, la digitalisation de polygones et d'autres éléments vectoriels, ainsi que l'échange de données géographiques avec les SIG usuels. Cet article présente un choix d'études de cas dans lesquels des événements liés aux dangers naturels ont été interprétés avec succès. Le logiciel s'est avéré l'instrument approprié pour la saisie de données géographiques liées à d'anciens et à d'actuels événements naturels, difficilement cartographiables sur le terrain.