

# Deformationsmessungen im Bergsturzgebiet von Schwanden bei Brienz

Autor(en): **Mahler, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **113 (2015)**

Heft 5

PDF erstellt am: **03.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-513893>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Deformationsmessungen im Bergsturzgebiet von Schwanden bei Brienz

## Ein Ausbildungsprojekt im Wandel der technischen und methodischen Entwicklung

Im Gebiet Schwanderbärgli oberhalb der Gemeinde Schwanden bei Brienz befindet sich ein aktives Bergsturzgebiet. Studierende der Fachhochschule Nordwestschweiz planen, messen und werten dort seit Jahren im Rahmen eines Ausbildungsprojektes dieses Deformationsnetz aus. Zum Einsatz kommen dabei die auf dem Markt modernsten Technologien und Methoden im Bereich der geodätischen Instrumentenfamilien (Satellitenmesssysteme, Präzisions-Tachymetrie, Präzisions-Nivellement, Laserscanner). Die Resultate zeigen die erreichbaren Genauigkeiten und das Langzeitverhalten dieses imposanten Rutschgebiets. Die Möglichkeiten und Veränderungen in der Welt der Geomatik, verursacht durch den technologischen und methodischen Wandel – sowohl in der Vergangenheit, der Gegenwart, als auch in der Zukunft – werden aufgezeigt.

*Dans la région de Schwanderbärgli en-dessus de la commune de Schwanden près de Brienz se trouve une zone d'éboulement active. C'est depuis plusieurs années déjà que la «Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse» (FHNW) mène un projet d'études, dans le cadre duquel les étudiants sont amenés à faire un travail, qui inclue la planification, les essais sur le terrain (un réseau de déformation continue) et l'analyse des données. Dans ce projet nous travaillons principalement avec les technologies et méthodes les plus avancées qui puissent être trouvées sur le marché actuellement; ceci dans le domaine des familles d'instruments géodésiques (Systèmes de mesure de satellite, tachymétrie de précision, nivellement de précision, les scanners laser). Les résultats montrent l'exactitude atteignable par ces instruments spécialisés et nous donnent une image précise de la déformation à long terme de cette impressionnante région de glissement. Les possibilités et les changements dans le monde de la géomatique, causés par le changement technologique et méthodologique – à la fois dans le passé, le présent et à l'avenir – sont présentés.*

Nell'area Schwanderbärgli sopra il villaggio di Schwanden bei Brienz si trova una zona di frana attiva. Da diversi anni gli studenti dell'Università di Scienze Applicate della Svizzera nord occidentale stanno conducendo un progetto di studio che prevede la pianificazione, le analisi sul terreno (una rete in continua deformazione) e l'analisi dei dati. In questo progetto lavoriamo principalmente con le tecnologie e i metodi più innovativi attualmente disponibili sul mercato; questo nel campo delle famiglie di strumenti geodetici (sistema di misura satellitare, tachimetria di precisione, livellamento di precisione, gli scanner al laser). I risultati mostrano l'esattezza ottenibile da questa strumentazione specializzata e ci danno un'immagine precisa della deformazione a lungo termine di questa impressionante regione di smottamento del terreno. Sono presentate le possibilità e i cambiamenti nel mondo della geomatica, causati dal cambiamento tecnologico e metodologico sia nel passato che nel presente e nel futuro.

P. Mahler

Das Institut Vermessung und Geoinformation an der Fachhochschule Nordwestschweiz in Muttenz bildet junge Menschen zu kompetenten Ingenieurinnen und Ingenieuren mit Bachelor- und Master-Abschlüssen aus. Im Fokus des Studiums steht immer wieder die Verknüpfung von Theorie und Praxis, die den Studierenden das Rüstzeug mitgibt für den erfolgreichen Start ins Berufsleben. Im Rahmen des Studiums realisieren wir unsere Ausbildungsziele u.a. mit anspruchsvollen Ingenieurprojekten, deren Resultate auch Dritten (Auftraggebern) von Nutzen sind.

Ein solches Ausbildungsprojekt ist das umfangreiche Deformationsnetz im Bergsturzgebiet oberhalb von Schwanden bei Brienz, das seit 1989 einmal jährlich (seit 2010 in einem Zwei-Jahres-Rhythmus) exakt d.h. mit Millimetergenauigkeit beobachtet wird. Von 1989 bis 1997 wurde die Aufgabenstellung im Rahmen einer vierwöchigen Diplomarbeit gelöst. 1998 wurde das Projekt voll in das 6. Studiensemester integriert und behandelt seither nicht nur die geodätischen Aspekte, sondern auch die Themen Projektmanagement, Teamarbeit, Kommunikation, Öffentlichkeitsarbeit, Kosten (Offerten, Nachkalkulation), Visualisierung und Präsentation. Das geodätische Netz hat im Laufe der Zeit einige Änderungen und Anpassungen erfahren, die aufgrund der Entwicklung in der Geomatik möglich wurden (Beispiele: Satellitenmesstechnik, ATR, Scanning). Darin widerspiegelt sich auch die methodische und enorme technische Entwicklung in den letzten 25 Jahren. Seit dem Projektstart haben rund 310 Studierende (davon 30 von der FH Dresden) im Rahmen eines zweiwöchigen Blockkurses dieses Projekt bearbeitet. Ihr Können und Wissen konnten sie im Bereich des Netzdesigns und der Präanalyse, der Vorbereitung und Rekognoszierung, der Messkampagne und Auswertung sowie der Analyse, Interpretation und Visualisierung der Resultate von Deformationsnetzen vertiefen und erweitern.



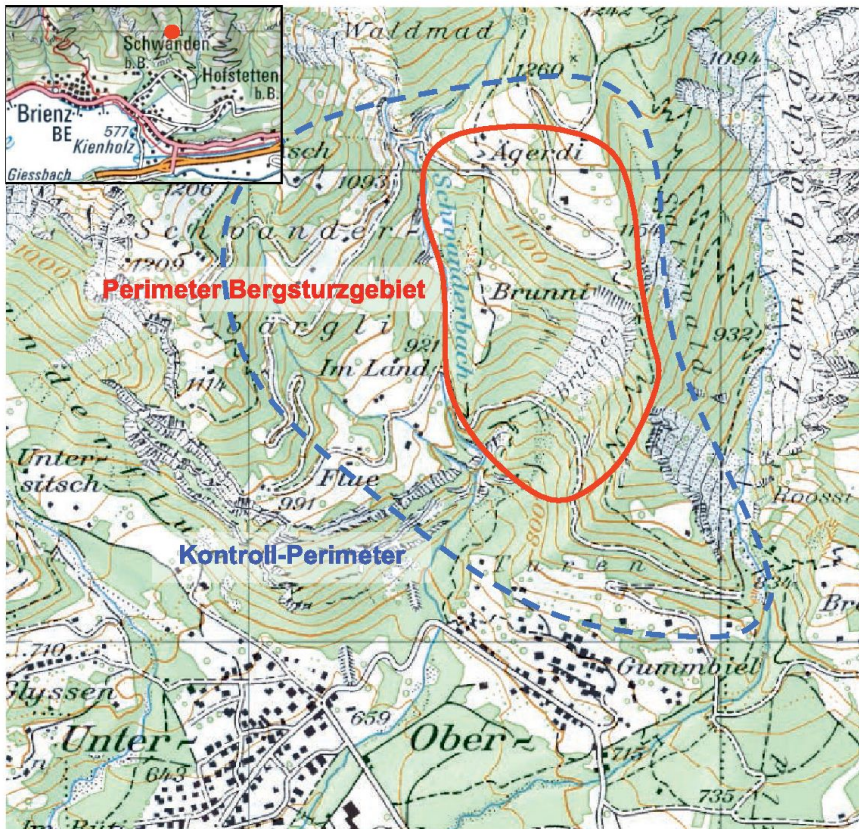


Abb. 1: Übersicht Bergsturzgebiet oberhalb von Schwanden b. Brienzen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA15009) vom 29.1.2015.

Neuere Entwicklungen, insbesondere im Bereich der Mess-Sensorik, der Softwareentwicklung und der Visualisierungsmöglichkeiten, konnten an diesem Projekt erprobt und umgesetzt sowie daraus neue Erkenntnisse gewonnen werden. Dieser Artikel wirft einen Blick auf die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft dieses Ausbildungsprojektes und dokumentiert Techniken, Methoden und Resultate.

## Einleitung Geschichte und Charakterisierung des Bergsturzgebiets

Die Gemeinde Schwanden und teilweise auch Brienzen (Kienholz) sind seit Jahrhunderten immer wieder von Wildbächen und einem zwischen den Wildbächen Schwanderbach und Lambach gelegenen Bergsturz bedroht. Beim Bergsturzgebiet

Metern auf. Das darunterliegende Bergsturz- und Rutschgebiet umrahmt eine Grundrissfläche von rund 30 Hektaren. Die sich in Bewegung befindliche Masse wird auf 7 Millionen Kubikmeter geschätzt (entspricht der Masse eines Quaders mit der Grundfläche eines Fussballfeldes, 1000 m hoch!).

Im Jahre 1901 kam es unterhalb der Ägerdi-Spalte im Gebiet «In Brüchen» letztmals zu einem grösseren Bergsturz mit einer Masse von rund 1 Million Kubikmeter. In der Folge wurden verschiedene bauliche und forstliche Massnahmen ausgeführt mit dem Ziel, das Bergsturzgebiet zu stabilisieren und damit die Bevölkerung von Schwanden besser zu schützen. U.a. wurden zwei grosse Schwergewichtsmauern gebaut, die im Jahre 1911 fertig erstellt wurden. Bei diesen «Sperren» handelt es sich um etwa 80 m breite, 5 m tiefe und 8 m hohe Stützbauwerke, welche Rutschungen und Bergstürzen bisher erfolgreich entgegen gewirkt haben. Insbesondere ermöglichten sie die Wiederaufforstung in Teilen des darüber liegenden Bergsturzgebietes. Jedoch nur die obere der beiden Stützmauern (Abb.

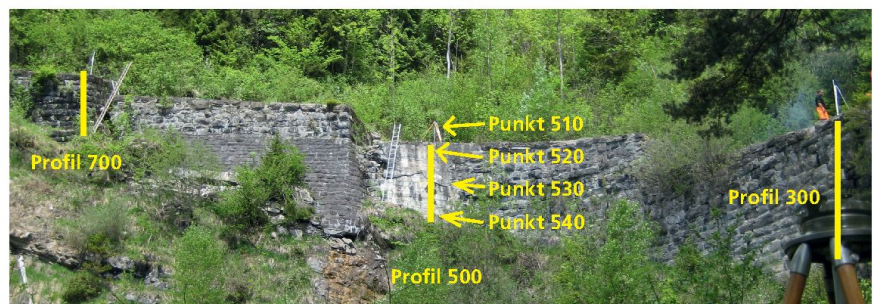


Abb. 2: Schwergewichtsmauer im Gebiet «In Brüchen» mit den Profilen 300, 500 und 700 zur Bestimmung der Kippungen.

handelt es sich um das «Schwanderbärgli», bestehend aus den Gebieten «Ägerdi», «Brunni» und «In Brüchen» an der Südflanke des Brienzer Rothorns nordöstlich von Schwanden gelegen (Abb. 1). Das Anrissgebiet ist unter dem Namen Ägerdi-Spalte bekannt, welche im Gelände von Auge deutlich sichtbar ist. Die Ägerdi-Spalte erstreckt sich auf rund 1'000 m.ü.M. von Westen gegen Osten und weist heute eine Länge von rund 900

2) weist deutliche Spuren aufgrund des immer noch anhaltenden Bergdrucks auf. In der Vergangenheit wurde diese so genannte Schwergewichtsmauer wiederholt an einzelnen Stellen notdürftig geflickt, um sie vor dem Zerfall zu bewahren. Über die Instandstellung wurde immer wieder diskutiert und vom Auftraggeber dazu diverse Expertisen [1] in Auftrag gegeben. Die Investitionen fließen aber bis heute verständlicherweise in die



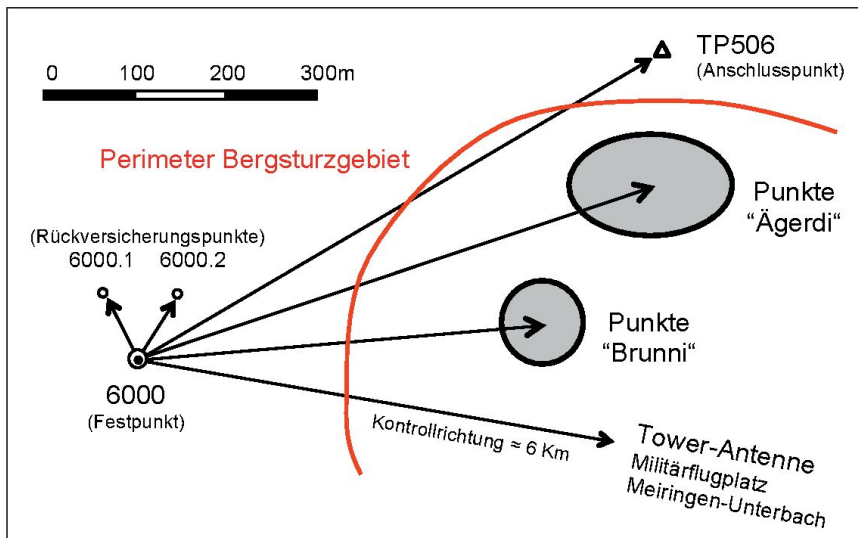


Abb. 3a: Schematischer Netzaufbau 1989, Teilnetze «Ägerdi» und «Brunni».

Schutzmassnahmen und Verbauung der gefährlichen Wildbäche rund um das Bergsturzgebiet, nicht zuletzt aufgrund der Unwetter-Katastrophe im August 2005 – Unwetter Schweiz.

In den 1980-er Jahren beobachtete man (von Auge), dass offenbar wieder grössere Bewegungen vorhanden waren, welche zur Besorgnis Anlass gaben. Daraufhin beschloss man, das Bergsturzgebiet regelmässig vermessungstechnisch zu überwachen und gelangte damals von seitens der Gemeinde Schwanden via das Ingenieurbüro Flotron AG in Meringen mit einer Anfrage an Prof. K. Ammann, Abteilungsleiter der damaligen Ingenieurschule beider Basel in Muttenz.

## Netzanlage und Messkonzepte

Die Netzanlage und das Netzkonzept hatten 1989 das Ziel, die Koordinaten der Beobachtungspunkte mit den damaligen Hilfsmitteln und technischen Möglichkeiten unter Berücksichtigung von ökonomischen Kriterien möglichst genau und zuverlässig zu bestimmen. Eine Genauigkeitsvorgabe oder eine Vorstellung, welche Verschiebungen signifikant detektiert werden sollen, war von seitens des Auftraggebers nicht vorhanden. Das oben erwähnte Ziel erlaubt es jedoch bis heute, den Genauigkeits- und Zuverlässig-

sigkeitsgewinn durch verbesserte Methoden und Techniken auch messbar zu bestimmen.

Ein auf Dauerhaftigkeit angelegtes Deformationsnetz in einem solch schwierigen Gelände anzulegen war und ist eine Herausforderung. Die grossen Höhenunterschiede (von 600 bis 1400 m.ü.M.), die anspruchsvolle Topographie und die dichte Vegetation sowie die Bedürfnisse der Geologen waren die Hauptschwierigkeiten. Zu Beginn wurden voneinander unabhängige Teilnetze «Ägerdi», «Brunni» (Abb. 3a) und «Sperre» (Abb. 3b) [2] angelegt, die rudimentär an den Koordinatenrahmen LV03/LN02 angeschlossen wurden oder nur ein lokales Koordinatensystem hatten (Abb. 3b). Eine Verknüpfung der rein tachymetri-

schen Teilnetze wäre nur mit einem unverhältnismässig grossen Aufwand (Visuren holzen) zu realisieren gewesen oder war aufgrund der Topographie sogar unmöglich. Ein praktikables GPS-Messsystem zur Verknüpfung der Teilnetze und Überprüfung von Festpunkten gab es damals noch nicht. Die ersten Versuche mit GPS fanden in diesem Projekt 1990 statt. Es gab damals in der Schweiz nur vier geodätische Empfänger von Trimble vom selben Typ (zwei swisstopo, zwei ETHZ). Das Zeitfenster, in welchem vier Satelliten empfangen werden konnten, lag auf Grund der Satellitenkonstellation anfänglich bei rund drei bis vier Stunden und das mitten in der Nacht. Der Messkampagne war jedoch kein Erfolg beschieden, denn der erste Irak-Krieg brach just in dem Moment aus und die Amerikaner optimierten die Satellitengeometrie für die Golfregion. Die zivilen Nutzer hatten das Nachsehen, denn die Satellitenbahnen (Ephemeriden) stimmten zu diesem Zeitpunkt nicht mehr. Aus diesem Grunde konnte praktisch keine Basislinie erfolgreich gelöst werden, dessen Berechnung übrigens damals pro Basislinie ca. vier Stunden Rechenzeit in Anspruch nahm (heute wenige Sekunden). Als eines der ersten praktikablen Satellitenmesssysteme auf dem Markt wurde das GPS-System 200 von Leica Geosystem angeschafft und eingesetzt. Damit konnten die Teilnetze verknüpft, das Festpunktnetz erweitert und korrekt im damaligen Koordinatenrahmen LV03/LN02 referenziert werden (Abb. 4).

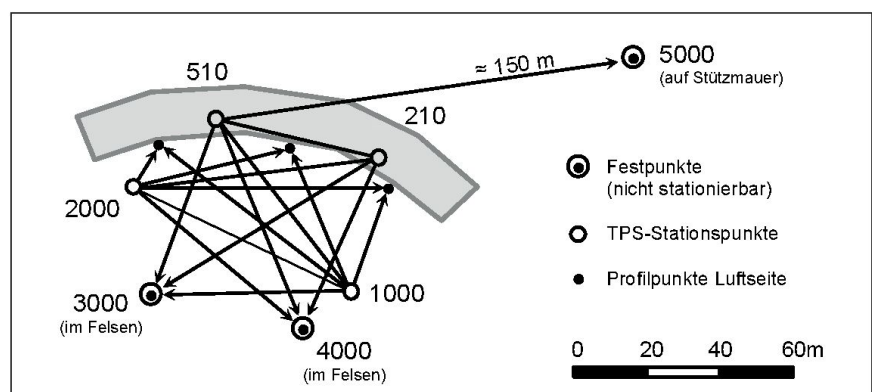


Abb. 3b: Schematischer Netzaufbau 1989, Teilnetz Sperre (Schwergewichtsmauer) «In Brüchen».

### Netzaufbau

Das Bergsturzgebiet ist mit einem Perimeter definiert, in welchem die meisten zu beobachtenden Punkte liegen. Der Kontrollperimeter dient zur weiteren Überwachung von Punkten nahe dem Bergsturzgebiet. Ausserhalb des Kontrollperimeters befinden sich die geologisch stabilen Festpunkte, auf welchen das ganze Netz abgestützt ist (Abb. 4). Seit 1989 wird das Netz bis heute konstant unterhalten d.h. zerstörte Punkte werden ersetzt und auf Wunsch des Geologen zusätzliche Punkte versichert (i.d.R. Granitsteine nach AV-Standard oder Bolzen an Gebäuden, Felsen, Kunstbauwerken). Das heutige Netz umfasst total 72 Punkte und lässt sich grob in folgende vier Teile gliedern:

1. Weiträumiges GNSS-Grundlagen- und Rahmennetz mit 12 Punkten, gelagert auf acht geologisch stabilen Punkten ausserhalb des Bergsturzgebiets
2. Tachymetrisches Netz mit 60 Punkten, abgestützt auf dem GNSS Grundlagnetz und mit vektoriellen, polygonzugs- und netzartigen Strukturen bestimmt
3. Bestimmung der exakten Höhen zur Festlegung der GNSS-Höhenmassstäbe mit Hilfe von geometrischen und trigonometrischen Nivellements
4. Scanning der Schwergewichtsmauer zu Erfassung der flächenhaften Deformationen

### Geometrisches und trigonometrisches Nivellement

Mit der Einführung der GPS-Technologie wurden die Einflüsse der troposphärischen und ionosphärischen Bedingungen von Messkampagne zu Messkampagne spürbar. Bei den Höhenbestimmungen über die vorhandenen Höhendifferenzen von bis zu 800 m traten Höhenmassstäbe von bis zu 100 ppm (!) auf. Zu Beginn wurde das Problem mit einer Selbstkalibrierung gelöst, welche jedoch nur teilweise befriedigende Resultat lieferte. Aus didaktischen Gründen entschied man sich für ein trigonometrisches Nivellement zwischen ausgewählten GPS resp. GNSS-Punkten. Mit gegenseitigen und

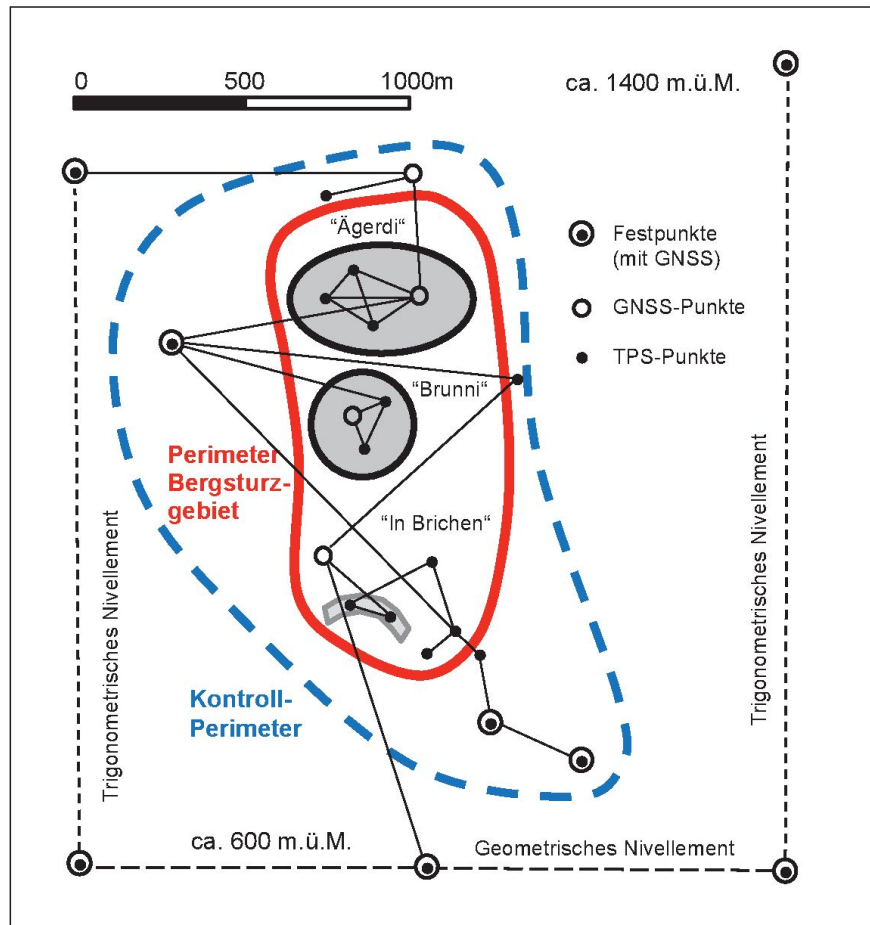


Abb. 4: Schematischer Netzaufbau des heutigen Gesamtnetzes.

gleichzeitigen Vertikalwinkelbeobachtungen, bei denen der Einfluss der Refraktion erheblich minimiert werden kann, liessen sich in mehreren Versuchen und Optimierungen eine Punkthöhen-Genauigkeiten ( $1\sigma$ ) von 2 mm (!) auf 800 m erreichen. Seither kann der GNSS Höhenmassstab zuverlässig bestimmt und korrekt berücksichtigt werden. Die Höhen der GNSS-Punkte in der Ebene werden mittels Präzisions-Nivellement bestimmt.

### Messkampagnen

Die Aufteilung des Deformationsnetzes wird jeweils so vorgenommen, dass eine Messequipe ein Gebiet (Teilnetz) möglichst unabhängig von den anderen Gruppen bearbeiten kann. Dabei erhält jede Messequipe klar definierte Aufträge, die etwa vom Mengengerüst her gleich gross sind. Es werden jeweils drei bis vier Grup-

pen à drei bis vier Studierende gebildet. Eine besondere Schwierigkeit und Herausforderung ist immer wieder die Wittersituation, die sich besonders in den Bergen schnell ändern kann. Starke Niederschläge, Nebel, Sturmböen und Schnee aber auch sehr heisse Messtage führten oftmals zu Wartezeiten und Umorganisation. Die Messresultate wurden teilweise dadurch mitunter negativ beeinflusst.

Der instrumentelle Aufwand ist beträchtlich. In der Messkampagne 2014 kam folgendes Instrumentarium und dessen Zubehör zum Einsatz:

- 8 GNSS Systeme Leica Viva (CS15 / GS14)
  - 4 Tachymeter Leica Nova MS50
  - 2 Digitalnivelliere Trimble DiNi03
- Dazu kamen 28 Stative, 12 Strebenstative, 32 Prismen, 24 Batteriesätze mit Ladestationen, 4 kalibrierte Präzisions-Nivellierlatten sowie Spezialzubehör u.v.m. zum Einsatz.



### GNSS Messungen

Die 12 ausgewählten Punkte werden in vier Sessionen à drei bis vier Stunden zu unterschiedlichen Tages- und Nachtzeiten mittels statischer Messung beobachtet. Der Einfluss in den Jahren mit hoher ionosphärischen Aktivität konnte damit gemindert aber auch untersucht werden. vier Stationen nachts und zwei Stationen tagsüber, die ausserhalb des Bergsturz- und Kontrollperimeters liegen, werden zur Verknüpfung der Sessionen und zur Bestimmung der Höhenmassstäbe über die gesamte Dauer aller GNSS-Messungen beobachtet.

### Tachymetrische Messungen

Das tachymetrische Netz dient zur Bestimmung der nicht GNSS-tauglichen Punkte. Die Messungen werden zwangszentriert und mittels ATR und dem Satz-messprogramm auf der Leica MS50 ausgeführt. Die Messungen erfolgen auf Standard- und Präzisionsprismen sowie im Bereich des Teilnetzes «Sperre» auf spezielle Reflexfolien, die an der Luftseite der Schwergewichtsmauer angebracht sind. Die Kippachshöhen werden mittels Höhenmessbügel der Firma Leica Geosystems (GMT007 + GHT196) präzise ( $< 1$  mm) bestimmt.

### Nivellement Messungen

Das geometrische Präzisions-Nivellement im unteren Teil des Messgebietes dient nebst der Kontrolle der GNSS-Höhen dem Anschluss an das Landeshöhennetz (LV95-Punkt Brienz in Hofstetten). Es wird die klassische Messmethode RVVR angewendet. Für das präzise trigonometrische Nivellement wurden spezielle Prismen-Adapter (Abb. 5) eingesetzt, die auf dem TPS-System montiert werden können, damit eine schnelle, automatisierte und zwangszentrierte Messung möglich ist.

### Laserscanning

Im 2007 wurde das erste Mal ein Laserscanner (Ausleihe ETHZ) zu Testzwecken für die Erfassung der Schwergewichtsmauer eingesetzt, um sich an die Möglichkeiten und Grenzen dieser zu-



Abb. 5: Studierende der FHNW und FH Dresden im Messeinsatz mit Spezialadapter auf TPS.

kunftsweisenden Technologie heranzutasten. 2008 und 2009 kam dann die institutseigene Leica Scan Station 2 zum Einsatz. Die damals beschränkt befriedigenden Resultate sowie der Umstand, dass sich jeweils nur ein bis zwei Studierende damit beschäftigen konnten, führten dazu, dass man das Scanning vorerst nicht weiter einsetzte. Mit der Anschaffung von acht MS50 und der Software 3D-Reshaper im 2013 wurde das Scanning wieder integriert, da sich nun jede Gruppe intensiv damit beschäftigen konnte. Die Schwergewichtsmauer wurde in drei Sektoren aufgeteilt und ermöglichte somit, dass alle Gruppen den ganzen Workflow des Scannings von A bis Z durchführen konnten. Durch das Zusammenfügen der einzelnen Scans resultierte eine flächenhafte Gesamtaufnahme mit hoher Qualität. Es wurden von sieben Standorten aus insgesamt rund 14 Millionen Punkte erfasst. Der Punktabstand am Objekt wurde mit 1 cm festgelegt. Die Scandauer betrug je nach Station ein bis zwei Stunden. Dank diesen Aufnahmen kann heute das Bewegungsverhalten der Schwergewichtsmauer viel besser erfasst und interpretiert werden als nur durch die tachy-

metrischen Beobachtungen von Profilen (siehe Abb. 2). Diese wiederum ermöglichen jedoch eine gute Kontrolle der Scannresultate in diesem Bereich.

### Auswertungen (2014)

Die Auswertungen in diesem Projekt wurden bisher epochal im Gegensatz zum so genannten multiepochalen Ansatz durchgeführt. Das heisst, die Koordinaten werden pro Messkampagne abschliessend bestimmt und diese mit der vorhergehenden Berechnung (Vorjahr) verglichen. Die Differenzen werden einer Deformationsanalyse unterzogen. Für die Auswertung der statischen GNSS-Messungen wurde das Softwarepaket Leica Geo Office V8.3 verwendet, für die Netzausgleichung VERATOP 2013 (Build005) als Benutzeroberfläche zum eigentlichen Netzausgleichungsprogramm LTOP V99.6.1. Die Punktwolken der Laserscanning-Aufnahmen mit der MS50 konnten mit Leica Infinity V1.1 und dem 3D-Reshaper V2013 bearbeitet werden. Für die Bearbeitung der Pläne kam MicroStation V8i zum Einsatz. Für die Aufbereitung und Visualisierungen auf der Homepage



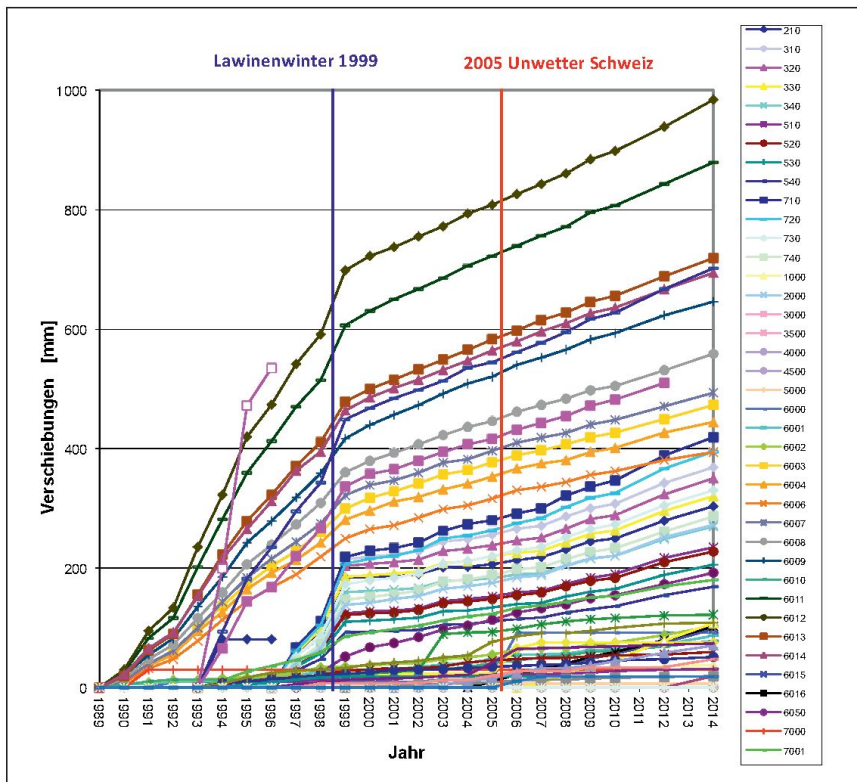


Abb. 6: Kriechgeschwindigkeitsdiagramm der Lageverschiebungen 1989-2014.

(siehe <http://web.fhnw.ch/habg/projekte/brienz/>) verwendet man HTML, VRML, PaintShop, ArcSCENE, JavaScript und GoogleAPI.

### Auswertekonzept

Der Ablauf der hybriden Netzausgleichung aller GNSS-, tachymetrischen und Nivellements-Messungen kann grob in folgende Schritte gegliedert werden:

- Sessionsweise Berechnung der Basislinien und Ermittlung der Koordinaten aus den GNSS-Messungen
- Berücksichtigung der GNSS-Höhenmassstäbe
- Freie Ausgleichung der GNSS-Sessionen inkl. Test der GNSS-Messungen auf allfällige Rotationen und Massstäbe (Lage) zwischen den Sessionen
- Freie Ausgleichung des Kombinetzes GNSS/Tachymetrie/Nivellement
- Prüfung und Auswahl der Festpunkte für die Netzlagerung
- Gezwängte Ausgleichung mit den guten Festpunkten

- Bestimmung der Verschiebungen und statistische Beurteilung bezüglich Signifikanz

In der Vergangenheit kam es immer wieder zu nachträglichen Neuberechnungen im Sinne einer neuen Referenz aufgrund von folgenden Umständen: Umstellung von LV03/LN02 auf LV95/LHN95, Geoidwechsel (Geoid98 → Geoid04) und Änderungen am Berechnungskern von Leica Geo Office. Diese aufwändigen Arbeiten waren jedoch unumgänglich, um die Zeitreihen lückenlos und korrekt weiterführen zu können.

| Resultate Kombinetz               |              |                              |                            |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------|----------------------------|
| Beobachtungsart                   | Anzahl Beob. | Standardabw (1σ) theoretisch | Standardabw (1σ) empirisch |
| Lage (GNSS)                       | 64           | 2.0 mm                       | 1.4 mm                     |
| Höhe (GNSS)                       | 32           | 4.0 mm                       | 2.8 mm                     |
| Distanzen Prismen (auf 1 km)      | 212          | 2.5 mm                       | 1.8 mm                     |
| Distanzen Reflexfolien (auf 1 km) | 22           | 4.0 mm                       | 2.8 mm                     |
| Richtungen horizontal             | 241          | 0.30 mgon                    | 0.25 mgon                  |
| Trig. Höhendifferenz (auf 1 km)   | 261          | 8.0 mm                       | 6.6 mm                     |

Die aus der Kombinetz-Ausgleichung erreichten empirischen Standardabweichungen (Tab. 1) zeigen die hohe erreichbare Messgenauigkeit der einzelnen Beobachtungen, die zu folgenden Koordinatengenauigkeiten führen:

Lage: 0.9 – 1.9 mm (grosse Halbachse der Konfidenzellipse, 1σ)

Höhe: 0.3 – 3.0 mm (empirische Standardabweichung, 1σ)

Diese wiederum lassen die Detektion von folgenden Verschiebungsbeträgen auf einem Signifikanzniveau von 95% zu:

Lage: > 6 mm (> 3 mm bei der Schwerkheitsmauer)

Höhe: > 9 mm (> 4.5 mm bei der Schwerkheitsmauer)

### Verschiebungen (1989-2014)

In so genannten Kriechgeschwindigkeitsdiagrammen werden die Verschiebungen nach Lage (Abb. 6) und Höhe getrennt aufgezeigt. Sie geben einen guten Überblick über den Verschiebungstrend innerhalb des Beobachtungszeitraums. Die aktuellen Bewegungsraten betragen ein bis drei cm pro Jahr.

Vor 1999 (Lawinenwinter) waren die Verschiebungen in Lage und Höhe markant grösser als in den darauf folgenden Jahren. Über die Ursache, warum sich diese deutliche Verlangsamung danach einstellte, kann bis heute nur spekuliert werden. Dazu bräuchte es vertiefte geologische Untersuchungen des Gebiets mit z.B. Inklinometerbohrungen, Geo-Radar, Seismik, u.a., welche bisher nicht durchgeführt wurden.

Interessanterweise hatte sich das verheerende Unwetter im August 2005 kaum auf das Verschiebungsverhalten ausgewirkt (Abb. 6), obwohl in diesem Gebiet

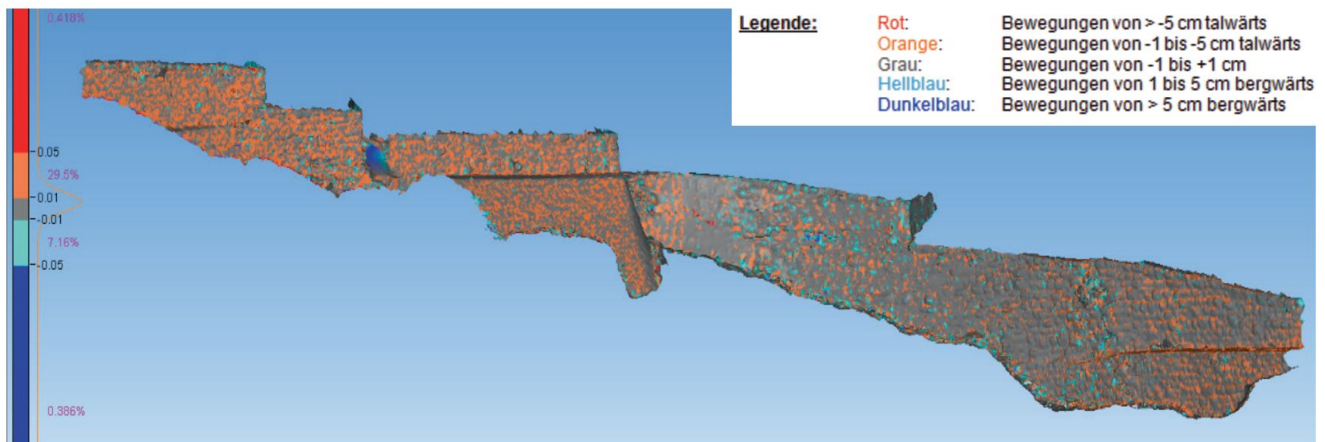


Abb. 7: Darstellung der flächenhaften Verschiebungen der Schwergewichtsmauer von 2012 bis 2014.

damals innert kürzester Zeit enorme Wassermassen niedergingen (über 200 Liter pro m<sup>2</sup>!). Es wurde erwartet, dass dadurch die Verschiebungen im «Schwanderbärgli» wieder zunehmen könnten, was jedoch nicht eingetroffen ist. Das «Schwanderbärgli» verhält sich diesbezüglich atypisch im Vergleich zu ähnlichen Bergsturzgebieten, wo oftmals zwischen starken Niederschlägen und dem Bewegungsverhalten ein Zusammenhang festgestellt wird. Interessant sind dazu die Untersuchungen und Berichte zur Ägerdi-Spalte des berühmten Geologen Albert Heim (1849-1937) [3]. Er prophezeite nach dem Bergsturzereignis von 1901 den befürchteten noch grösseren Bergsturz, der dann wider Erwarten und glücklicherweise (bis heute) nicht eingetroffen ist.

## Scanning (2014)

Dank der flächenhaften Erfassung mittels Scanning kann von den Bewegungen der Schwergewichtsmauer ein viel differenzierteres Bild gezeichnet werden, als nur durch die Beobachtung von Profilen mit diskreten Punkten durch TPS (Abb. 7). Anhand der bekannten Koordinaten der Scan-Standorte konnten die Verschiebungen zum Jahr 2012 fiktiv sichtbar gemacht werden. Die flächenhafte Darstellung der Deformationen spielt ihre Stärken besonders bei komplexen Deformationen mit Mischformen von Druck, Zug, Biegung, Scherung, Dehnung und Torsionen aus. Aber man muss

bei der Interpretation auch vorsichtig sein. Z.B. ist der dunkelblaue Bereich auf dem Bild (Abb. 7) keine effektive Deformation, sondern er wurde durch fehlende Messdaten nicht korrekt modelliert.

## Schlussbemerkungen und Ausblick

Das Ausbildungsprojekt Deformationsnetz «Schwanderbärgli» ist ein von den Studierenden geschätztes integrales Ausbildungsprojekt, welches die Kompetenz in Geomatik gezielt vertieft. Deformationsmessungen mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit müssen effizient und effektiv geplant, ausgeführt und ausgewertet werden. Übersichtliche, verständliche und überzeugende Produkte für Kunden und Interessierte sind zu erstellen und betriebsökonomische Gesichtspunkte müssen berücksichtigt werden. Das Ausbildungsprojekt vereinigt somit die Aspekte der Technik, der Organisation, der Präsentation und der Kosten auf eine ideale Art und Weise.

In Zukunft wäre es möglich, weitere Sensorik und/oder Methoden einzusetzen. Denken wir dabei an die zukünftigen Auswirkungen, wenn die im Aufbau befindlichen Satellitensysteme BEIDOU und GALILEO nutzbar sind oder die Verbesserung bei den bestehenden Systemen GPS und GLONASS wirksam werden. Auch die Bestimmung der Deformationen aus der Luft mittels photogrammetrischer oder Laserscanning-Methoden

auf verschiedensten Plattformen wie Flugzeug, Helikopter oder UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) [4] wäre denk- und auch machbar. Auch die terrestrische Radarinterferometrie [5] könnte eingesetzt werden oder die Auswertung von SAR-Daten von Satelliten [6], um das Gebiet flächendeckend zu beobachten. Falls sich das Gebiet in Zukunft wieder schneller bewegen sollte oder ein Bergsturz unmittelbar bevorstehen würde, könnte auch ein automatisiertes Geomonitoring-System wie z.B. das instituts-eigene GeoMoS-System von Leica eingesetzt werden, mit welchem in der neusten Version 6.0 auch flächenhafte Deformationen erfasst werden können. Trotz diesen Möglichkeiten wird das Gebiet vorerst weiterhin wie beschrieben vermessen, ohne jedoch die gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklungen im Geomonitoring-Bereich ausser Acht zu lassen. Alle oben aufgezählten Möglichkeiten und Verfahren (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) haben zwar ihre Vor- aber auch Nachteile. Zum Beispiel können damit nur Teilgebiete erfasst werden, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit verringert sich, nur eine Komponente (Lage oder Höhe) kann bestimmt werden, hohe Kosten u.a.m. Die klassische geodätische Methode bleibt in diesem Projekt bezüglich Punkt-Genauigkeit und deren Zuverlässigkeit bisher unerreicht. Das Ausbildungsprojekt Bergsturzgebiet Schwanderbärgli bleibt in jedem Fall für unsere Studierenden und Projektverant-



wortlichen auch in Zukunft spannend und interessant.

## Danksagung

Im Namen der Studierenden und der Projektverantwortlichen bedanke ich mich beim Auftraggeber, der Einwohnergemeinde Schwanden für die geschätzten Aufträge, bei den örtlichen Forstorganen für die stets ausgezeichnete Zusammenarbeit und bei der von Rotz Stiftung für den Beitrag an die Spesen der Studierenden.

## Literaturverzeichnis:

[1] Geologen-Berichte (unveröffentlicht):  
Haldimann P., Geologische Beurteilung der Hangstabilität im Gebiet Aegerdi und der Hangstützmauern «In Brichen» Gemeinde Schwanden/BE, Hrsg.: Geologisches Büro Dr. Heinrich Jäckli AG, Zürich, 31.03.1993.

Gruner U., Bachgräben mit möglichem Gefahrenpotenzial, Schwanderbach, Gemeinde Schwanden, Hrsg.: Kellerhals + Haefeli AG, Bern, 28.6.1999.

Zürcher K., Vorstudie – Sanierung obere Hangstützmauer «In Brichen», Hrsg.: Impuls AG, Thun, 12.2000.

[2] Ammann K., Kontrollnetz Schwanden b. Brienz - Hinweise zum Netzaufbau, Hrsg.: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Vermessung und Geoinformation, Skript, 1989.

[3] Heim A., Bergsturz und Menschenleben, Hrsg.: Beiblatt zur Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, Band 20, S. 158-162, 174-183, 1932.

[4] Meier G., Frank St., Dokumentation und Überwachung einer Rutschung mittels UAV, Hrsg.: Geomatik Schweiz, Heft 10/2014, S. 449-452.

[5] Jacquemart M., Meier L., Deformationsmessungen an Talsperren und in deren al-

piner Umgebung mittels Radarinterferometrie, Hrsg.: Wasser Energie Luft, 106. Jahrgang, Heft 2/2014, S. 105-111.

[6] Eineder M., Globale Kartierung und lokale Deformationsmessungen mit den Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, Hrsg.: zfv, 38. Jahrgang, Heft 1/2013, S. 75-84.

[7] Angelini Danilo, Deformationsmessungen Schwanden bei Brienz, Hrsg.: Geomatik Schweiz (vormals Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik), Heft 2/1999, S. 64-66.

Peter Mahler  
Fachhochschule Nordwestschweiz  
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik  
Institut Vermessung und Geoinformation  
Gründenstrasse 40  
CH-4132 Muttenz  
peter.mahler@fhnw.ch

## LAND 2 MAP

100 % CAD-basierte  
Tabletsteuerung für TPS & GNSS

Mit allen Marken kompatibel  
Leica, Trimble, Topcon, Spectra



Infos unter:  
[www.trigonet.ch](http://www.trigonet.ch)  
[land2map@trigonet.ch](mailto:land2map@trigonet.ch)  
 041 500 26 20

