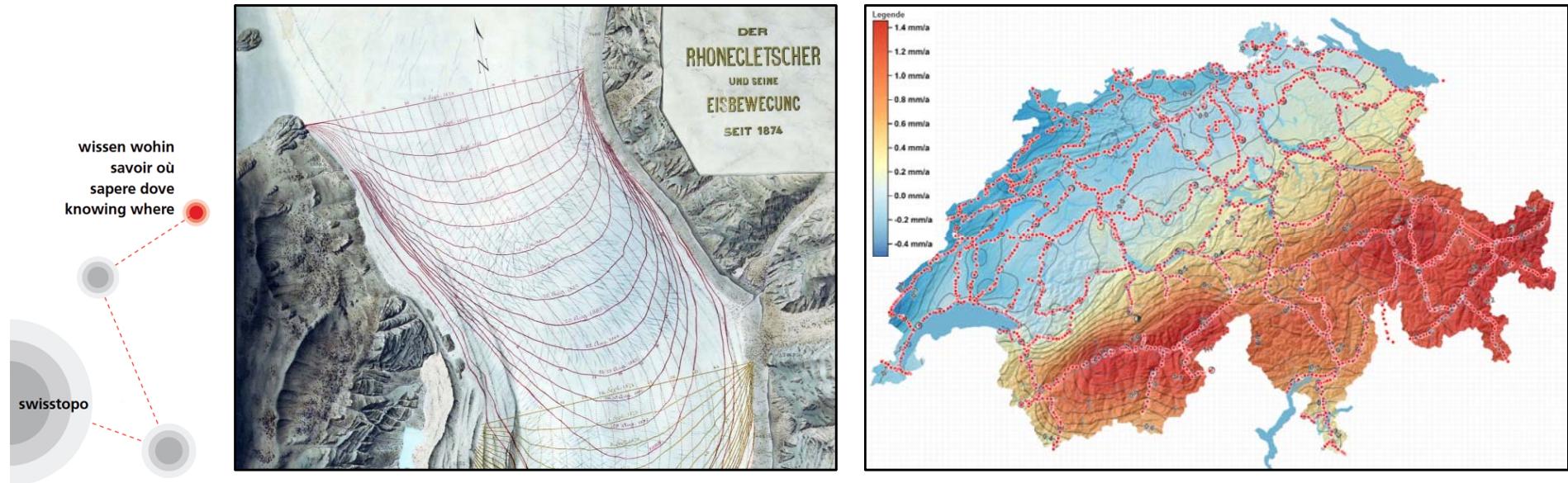




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo  
Bereich Vermessung



# Die Bedeutung von Zeitreihen in der geodätischen Landes- und Ingenieurvermessung

## La signification des séries de temps dans la mensuration géodésique nationale et technique

Matthias Kistler, Andreas Schlatter, Sebastian Condamin und Martino Isidori

**swisstopo – Geodätische Landesvermessung**  
**Mensuration géodésique nationale**



# Inhalt

## 1. Einführung

Matthias Kistler – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Grundlagen der Zeitreihenanalyse
- Anwendungsbeispiele aus der LV und IV
- Wichtige Zeitreihen in der geodätischen Landesvermessung

## Introduction

Bases pour l'analyse des séries de temps

Exemple d'applications pour la MN et MT

Séries de temps importantes pour la mensuration national géodésique

## 2. Überwachung des Felssturzgebietes an der Chli Windgälle 1933 – 2015

### Surveillance de la zone de glissement au Chli Windgälle 1933 – 2015

Lukas Eggimann – Abteilungsleiter Naturgefahren · Amt für Forst und Jagd Kanton Uri

- Geschichte und Geologie
- Überwachungskonzept
- Pilotprojekt terr. Radarinterferometrie

Histoire et géologie

Concept de surveillance

Projet pilote radar interférométrie terrestre

## 3. 100 Jahre Landesnivelllement im Simplontunnel

### 100 ans de nivelllement fédéral dans le tunnel du Simplon

Andreas Schlatter – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Landesnivelllement und rezente Bewegungen
- Messanlage und Deformationsanalyse

Nivellement fédéral et mouvements récents

Installation de mesure et analyse de déformation

## 4. 10 Grundlagen- und Überwachungsnetz Mont Terri

### 10 ans réseau de base et de surveillance au Mont Terri

Peter Mahler - Wissenschaftlicher Mitarbeiter · Institut Geomatik FHNW

- Netzanlage und -Erweiterungen
- Präzisions-Tunnelvermessung
- Deformationsanalyse

Mise en place du réseau et extensions

Mesures de précisions dans les tunnels

Analyse des déformations

Hinweis: Zeitreihen von GNSS-Permanentstationen / CHTRF werden in der Kolloquiumsreihe 2018/19 vorgestellt



# Zeitreihen-Analyse: Grundlagen aus geodätischer Sicht

## Analyse des séries de temps: bases de la vue géodésique

- «Folge von zeitlich geordneten Beobachtungswerten (Koordinaten), diskret und äquidistant...»
- In der Vermessung zudem:  
...bei gleichen Bedingungen (Jahreszeit) und möglichst in gleicher Genauigkeit
- Komponentenmodell:
  - > Trendkomponente: z.B. Tektonik
  - > (zyklische Komponente)
  - > z.B. Saisonkomponente:  
«Atmen des Gebirges»
  - > irreguläre Komponente:  
Lokal (Rauschen), Sprünge  
(neue GNSS-Antenne), Lücken ..
- Filter-Operationen
  - > gleitendes Mittel
  - > Common Mode  
z.B. Polygonzug Mont Terri
  - > ..
- Spektralanalyse
- Prädiktion (Kollokation)
- «Séquences d'observation ordonnées temporellement (coordonnées), discrètes et équidistantes...»
- Lors des mesures, en outre:  
...dans les mêmes conditions (saison) et si possible avec la même précision
- Modèle de composant:
  - > Tendance: par ex. Tectonique
  - > (composant cyclique)
  - > par ex. Composante saisonal:  
«Mouvement saisonier alpin»
  - > Composant irrégulier:  
Local (Bruit), saut  
(nouvelle antenne GNSS), lacune ..
- Opérations de filtrage
  - > moyenne mobile
  - > Common Mode  
par ex. Polygonale Mont Terri
  - > ..
- Analyse spectrale
- Prédition (collocation)



# Anwendungsbeispiel Seilbahnüberwachung

## Exemple d'application pour la surveillance d'une télécabine

- Au moyen de 3 récepteurs GNSS, la position et la flèche d'un téléphérique (ou d'un avion) peuvent être déterminées en 3 dimensions à tout moment
- A partir de ces mesures, la flèche ainsi que la vitesse et l'accélération peuvent être calculées



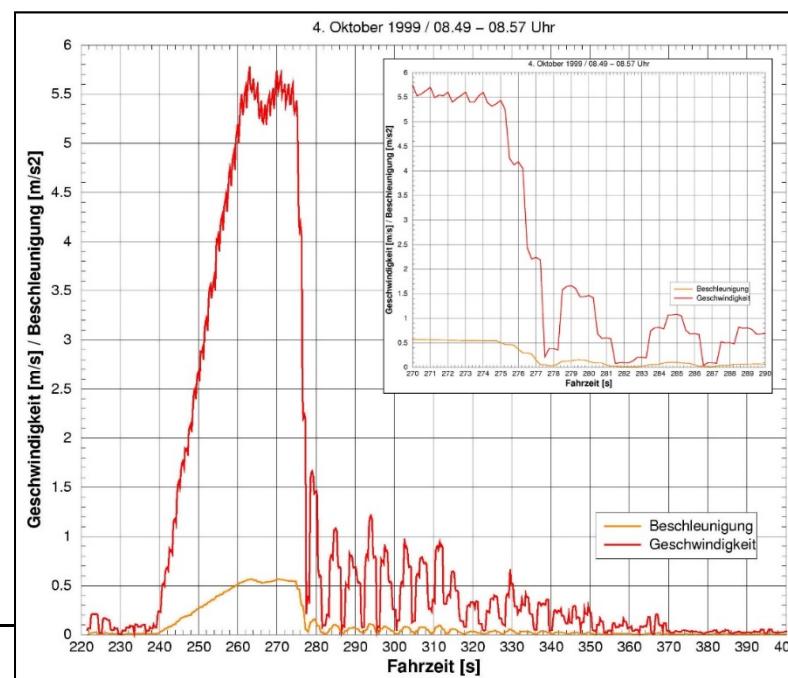
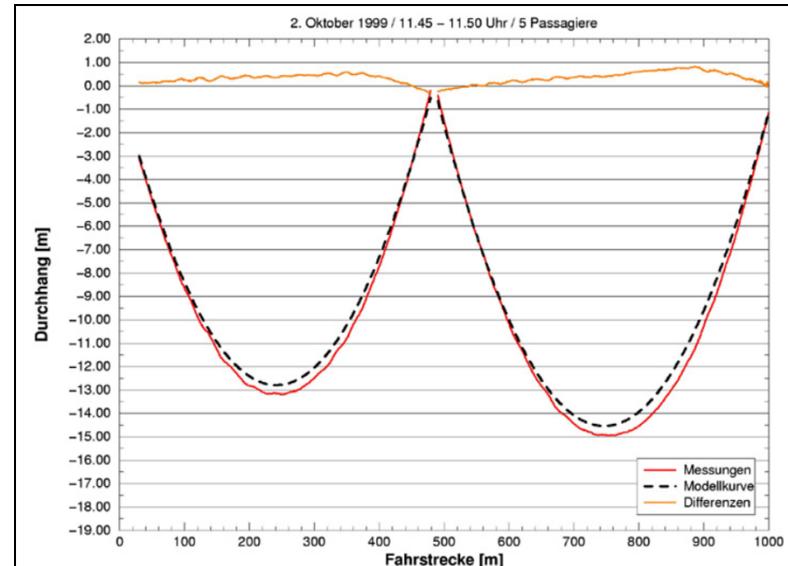
Antenne Laufwerk



Antenne Tal



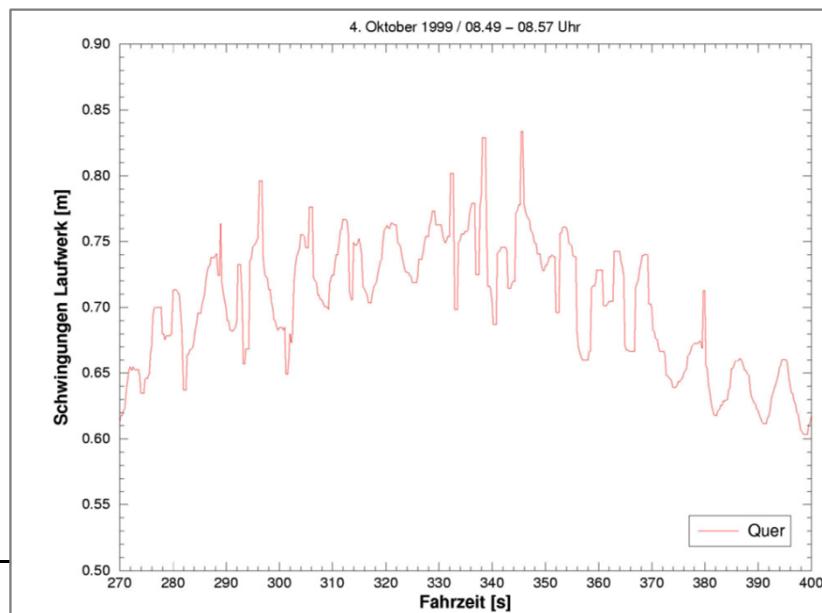
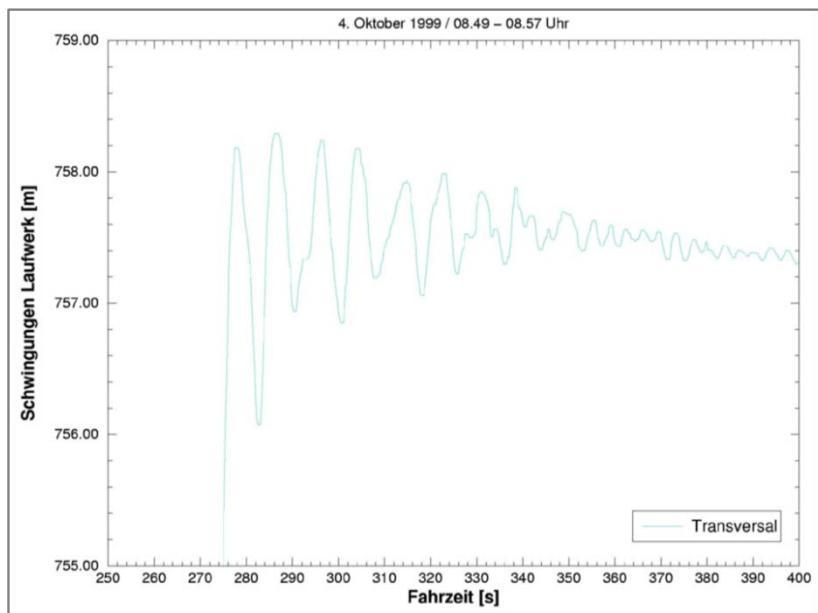
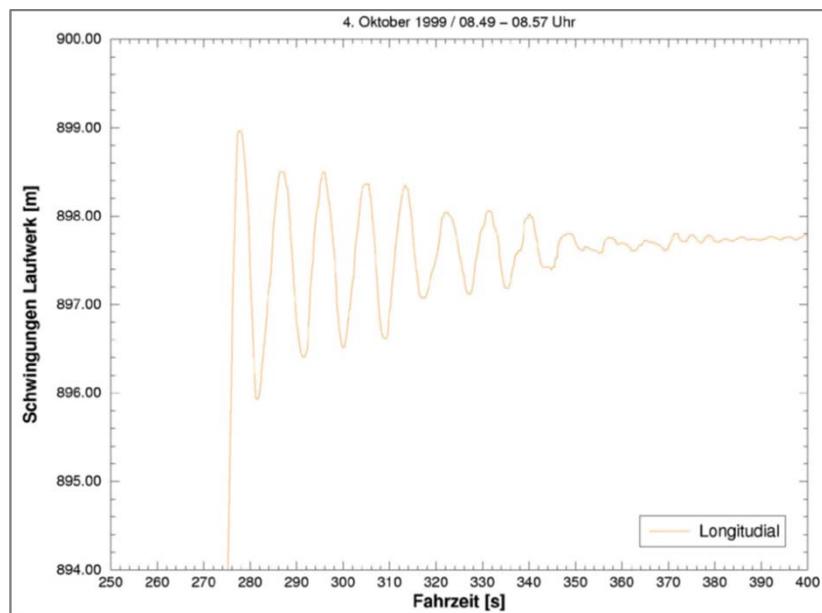
Referenz





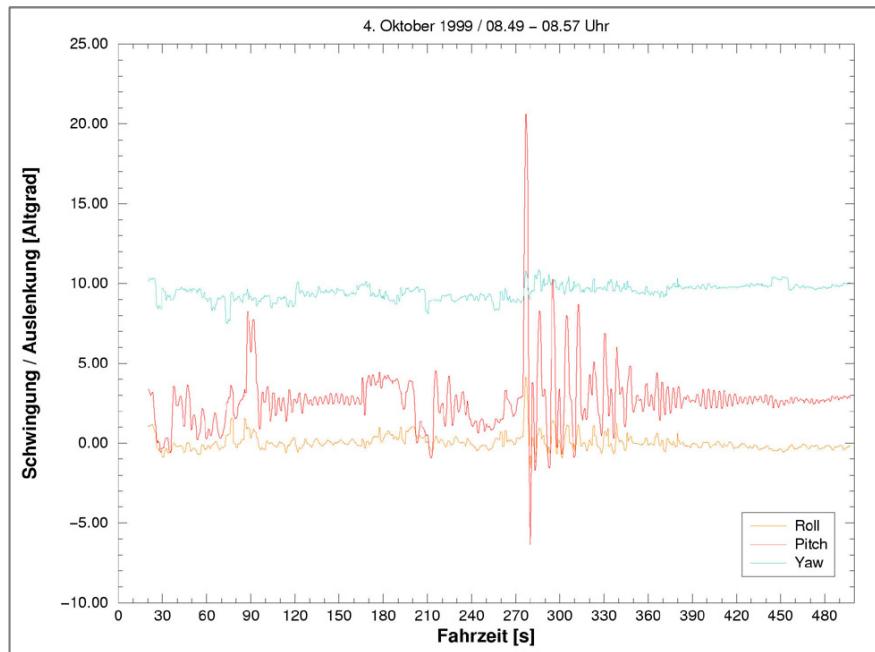
## Surveillance d'un télécabine > Arrêt de de secours I

- Position 3D pendant l'arrêt d'urgences à l'instant  $t = 278$
- En traçant les coordonnées d'un récepteur GPS, il est possible de déduire les vibrations longitudinales, verticales et latérales
- Alors que les vibrations longitudinales et verticales sont de plusieurs mètres, les vibrations transversales sont (presque) négligeables avec 1 à 2 décimètres



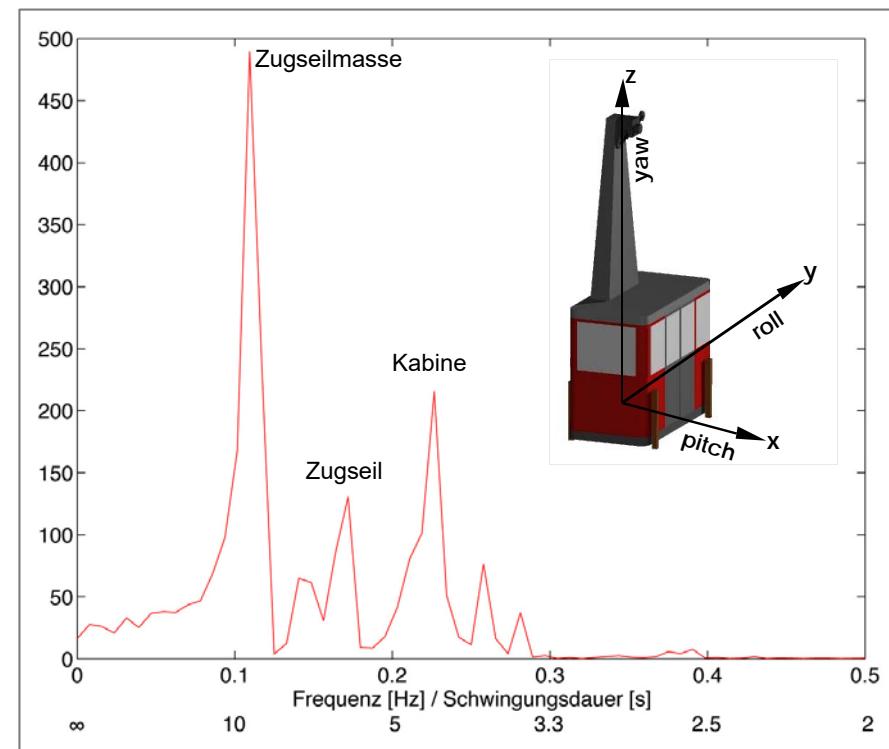


## Seilbahnüberwachung > Nothalt II



- Auslenkung / Schwingung der Kabine um die 3 Achsen des lokalen Koordinatensystems in Fahrtrichtung (Yaw, Roll and Pitch / 3 GPS) als gleitendes Mittel aus 5 Werten
- Aus der Frequenzanalyse ist erkennbar, dass 3 Hauptschwingungen auftreten: Kabine, Zugseil und Zugseilmasse

- Déviation / oscillation de la cabine autour des 3 axes du système de coordonnées local dans la direction de déplacement (flèche, roulis et tangage / 3 GPS) comme moyenne mobile de 5 valeurs
- Les 3 oscillations principales, la cabine, le câble et la masse du câble

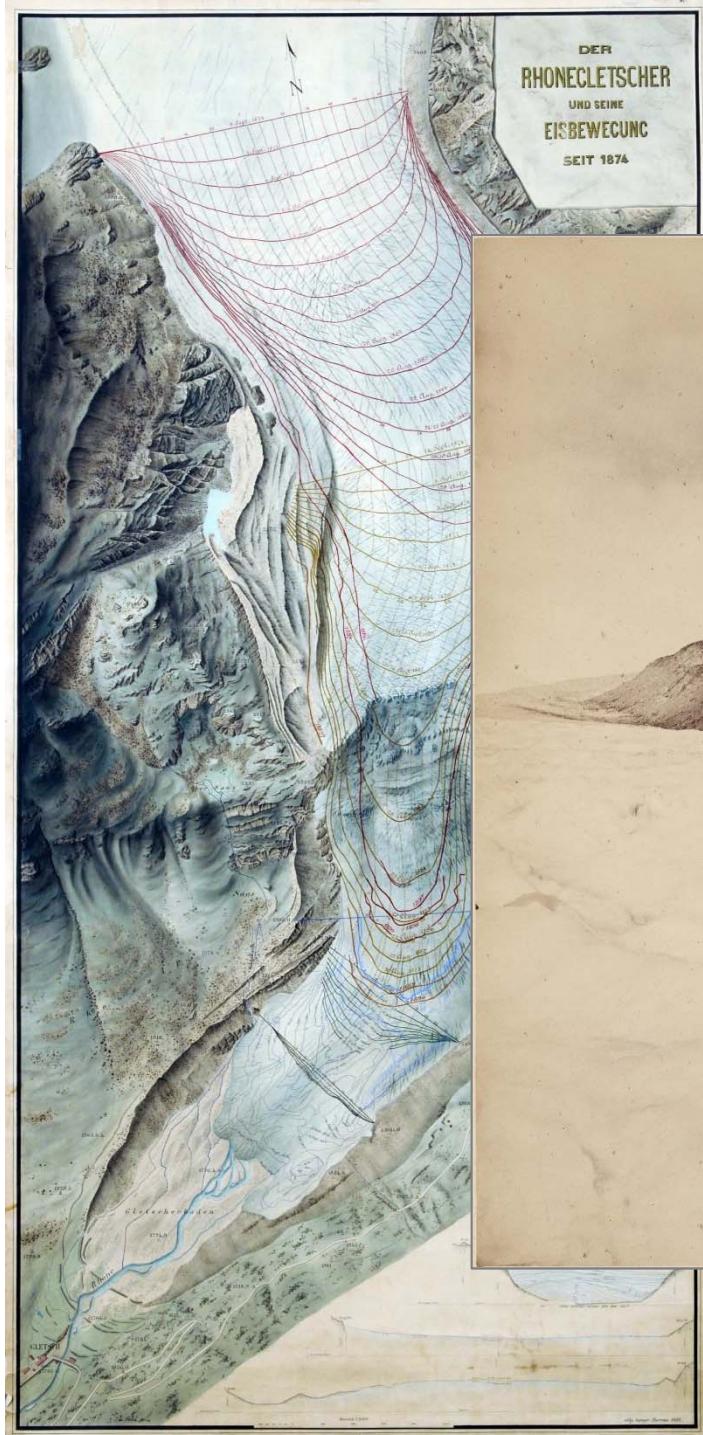


## Surveillance d'une télécabine > Arrêt de de secours III

### Résumé Analyse de séries temporelles «Seilbahnüberwachung»

1. Mesure des positions (coordonnées) d'un objet (télécabine, point de mensuration usw.)
2. Dérivation / calcul d'autres valeurs (vitesse / accélération) et si nécessaire comparaison avec un modèle (courbe de charge, tectonique etc.)
3. Détermination de la position tridimensionnelle de l'objet avec 3 récepteurs GPS et dérivation des rotations autour des axes individuels dans un système de coordonnées local
4. Filtrage des séries temporelles (bruits, effets saisonniers, sauts etc.)
5. Analyse de fréquence pour la détermination des vibrations (tendance et composants résiduels)
6. Prédiction (par exemple, par collocation)

- Welchen Schwingungen ist man bei einem Nothalt in einer Seilbahnkabine ausgesetzt, bzw. wie fühlt sich der plötzliche Stopp für eine/n Passagier/in an?
- Quel genre de vibrations ressentez-vous lors d'un arrêt d'urgence dans une télécabine, ou comment l'arrêt soudain se fait-il sentir pour un passager?



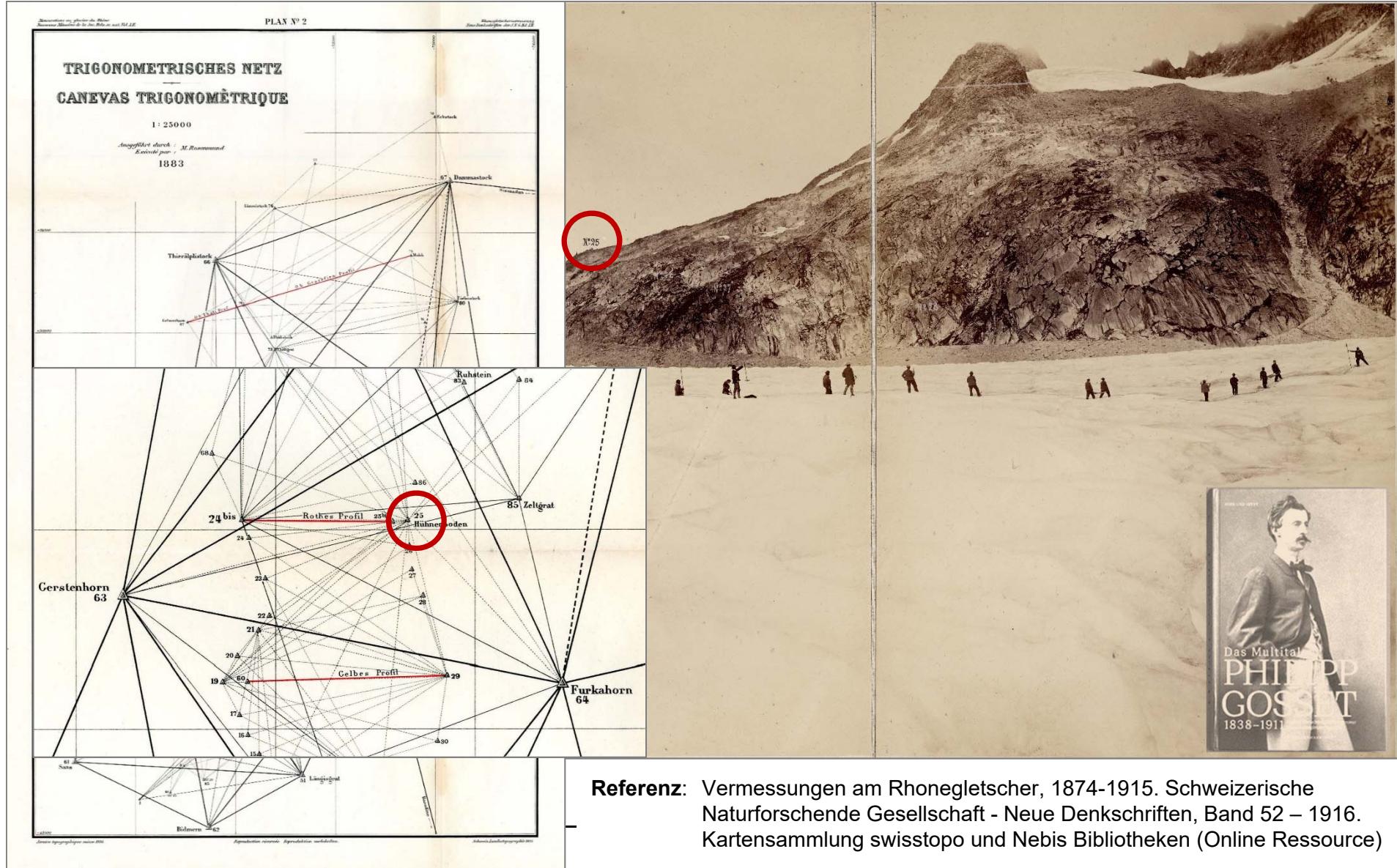
## Biegelinien Einst und Jetzt I: Le Glacier du Rhône et son mouvement transversal hier et aujourd'hui I



**Referenz:** Vermessungen am Rhonegletscher, 1874-1915. Schweizerische Naturforschende Gesellschaft - Neue Denkschriften, Band 52 – 1916. Kartensammlung swisstopo und Nebis Bibliotheken (Online Ressource)



# Biegelinien Einst und Jetzt I: Le Glacier du Rhône et son mouvement transversal hier et aujourd'hui I



# Biegelinien Einst und Jetzt I: Le Glacier du Rhône et son mouvement transversal hier et aujourd’hui I



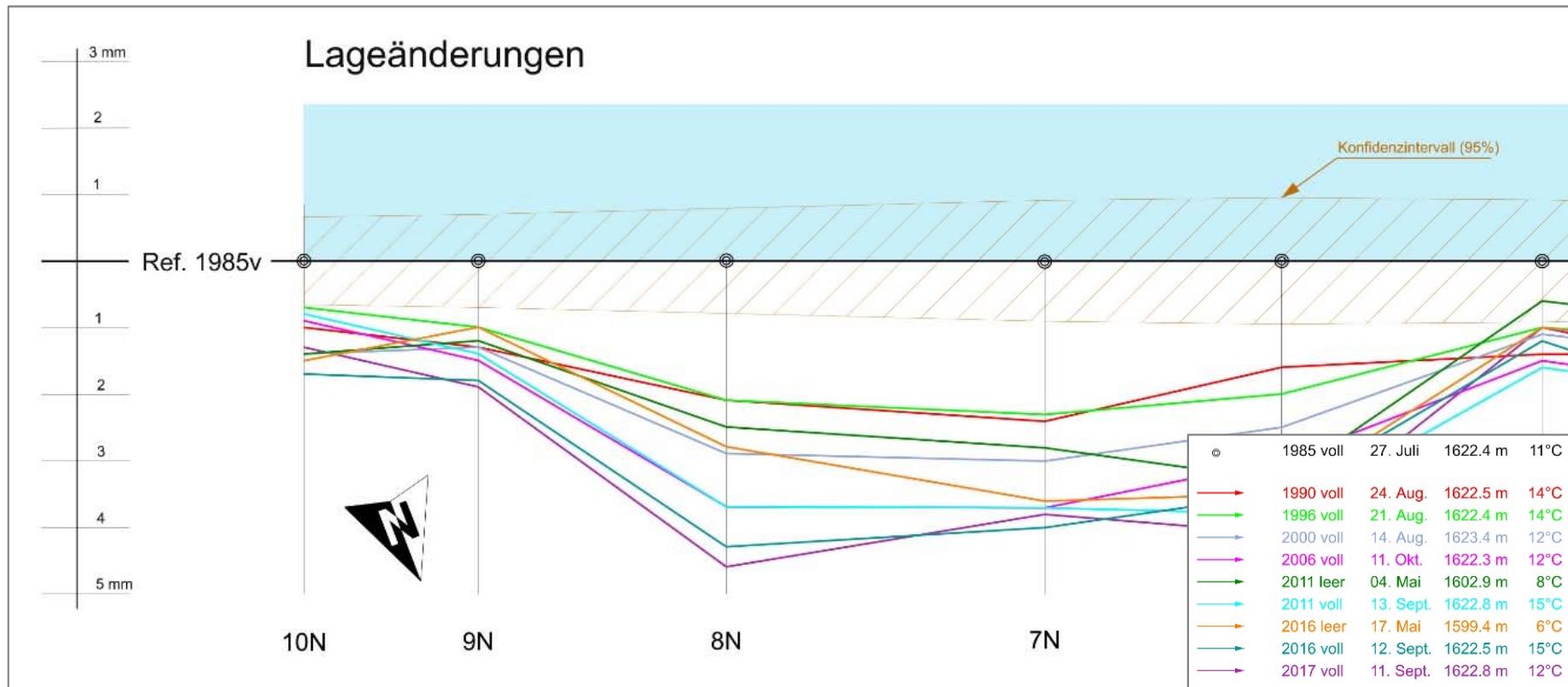
**Quelle:** Vermessungen am Rhonegletscher, 1874-1915. Schweizerische Naturforschende Gesellschaft - Neue Denkschriften, Band 52 – 1916. Kartensammlung swisstopo und Nebis Bibliotheken (Online Ressource)



## Biegelinien Einst und Jetzt II: Staumauer Garichte

## Coupe en travers hier et aujourd'hui II: Barrage de Garichte

- Les méthodes de 1874 et 2017 sont essentiellement basées sur les mêmes méthodes de triangulation: graphiquement avec une table de mesure, dioptrie, boussole et base sous la langue du glacier et aujourd'hui mesures trigonométriques avec des stations totales de précision calibrées
- Aujourd'hui, bien sûr, la précision est bien meilleure (1mm vs dm aux mètres) qu'avant et les mesures (distances comprises) peuvent être réalisées en grande partie automatiquement

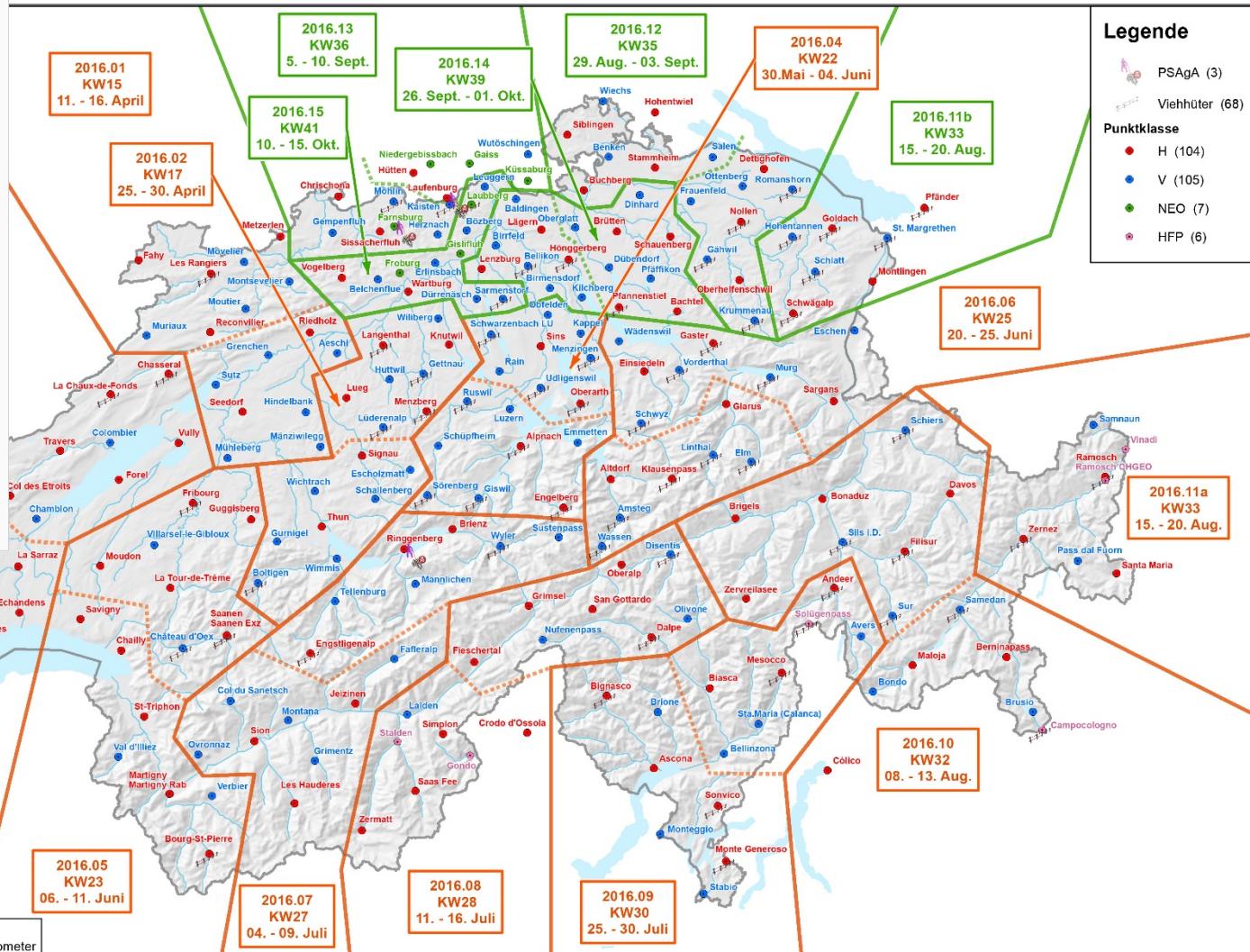




# Wichtige Zeitreihen in der LV: CHTRF-Messkampagnen

- Réseau MN95:  
Mesures d'origines  
1988 – 1995 (1998)
- Répétitions des  
mesures 1998,  
2004, 2010 et 2016
- Mise à disposition  
d'une infrastructure  
de mesure nationale
- Identification de  
mouvements récents  
et/ou locaux

# Séries de temps importantes dans le MN: campagnes CHTRF

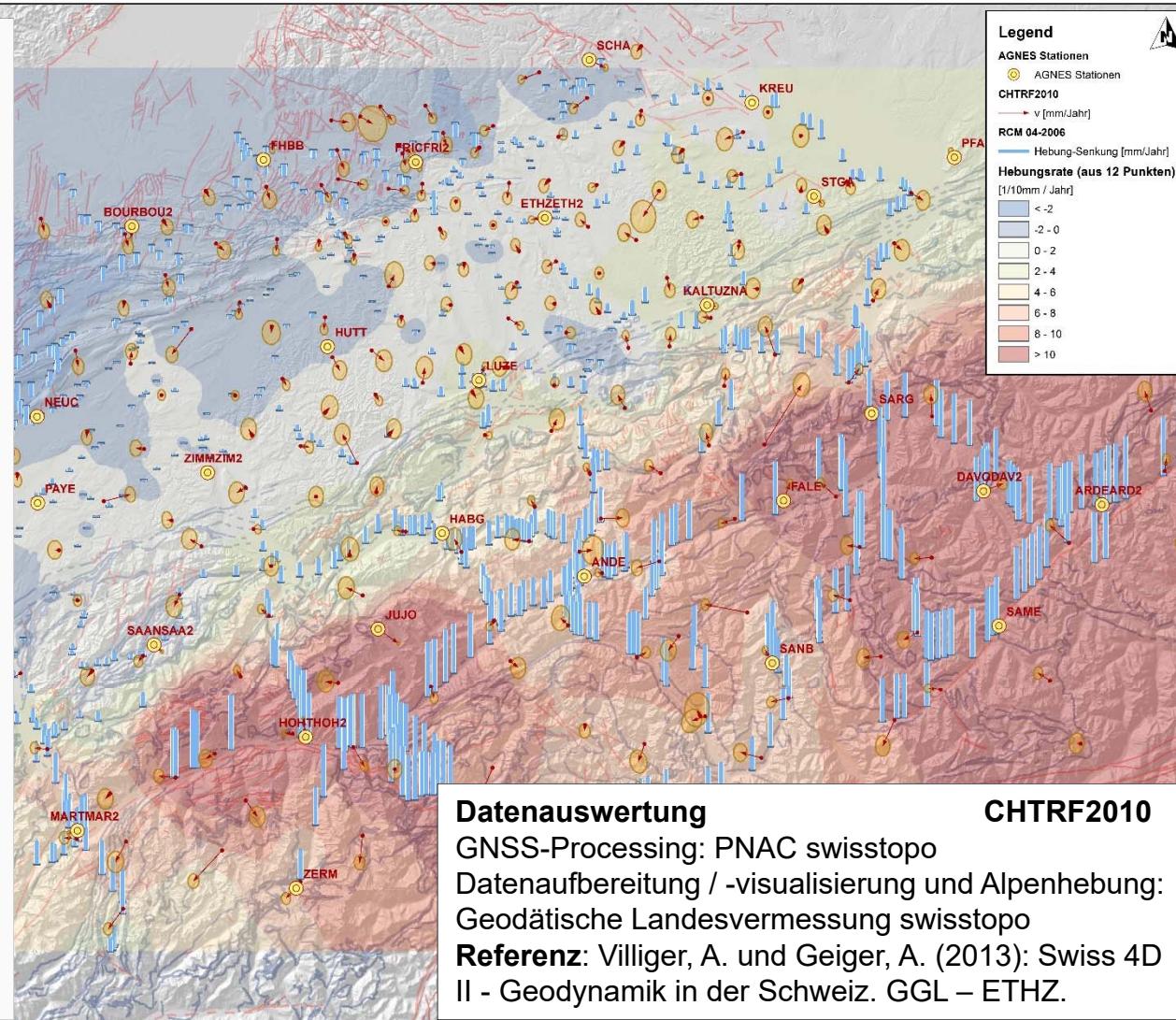




## AGNES und CHTRF-Messkampagnen: Geschwindigkeitsfeld und Strain Analyse

- Calculs GNSS de «précision» par le PNAC
- Dérivation d'un champ de vitesse à partir des mesures discrètes
- Séparation des mouvements locaux et tectoniques
- Identification de compression d'extension en utilisant l'analyse de contrainte (collocation)
- Comparaison avec l'analyse de contrainte sismique

## AGNES et campagnes de mesure CHTRF: Champ de vitesse ainsi que analyse du strain

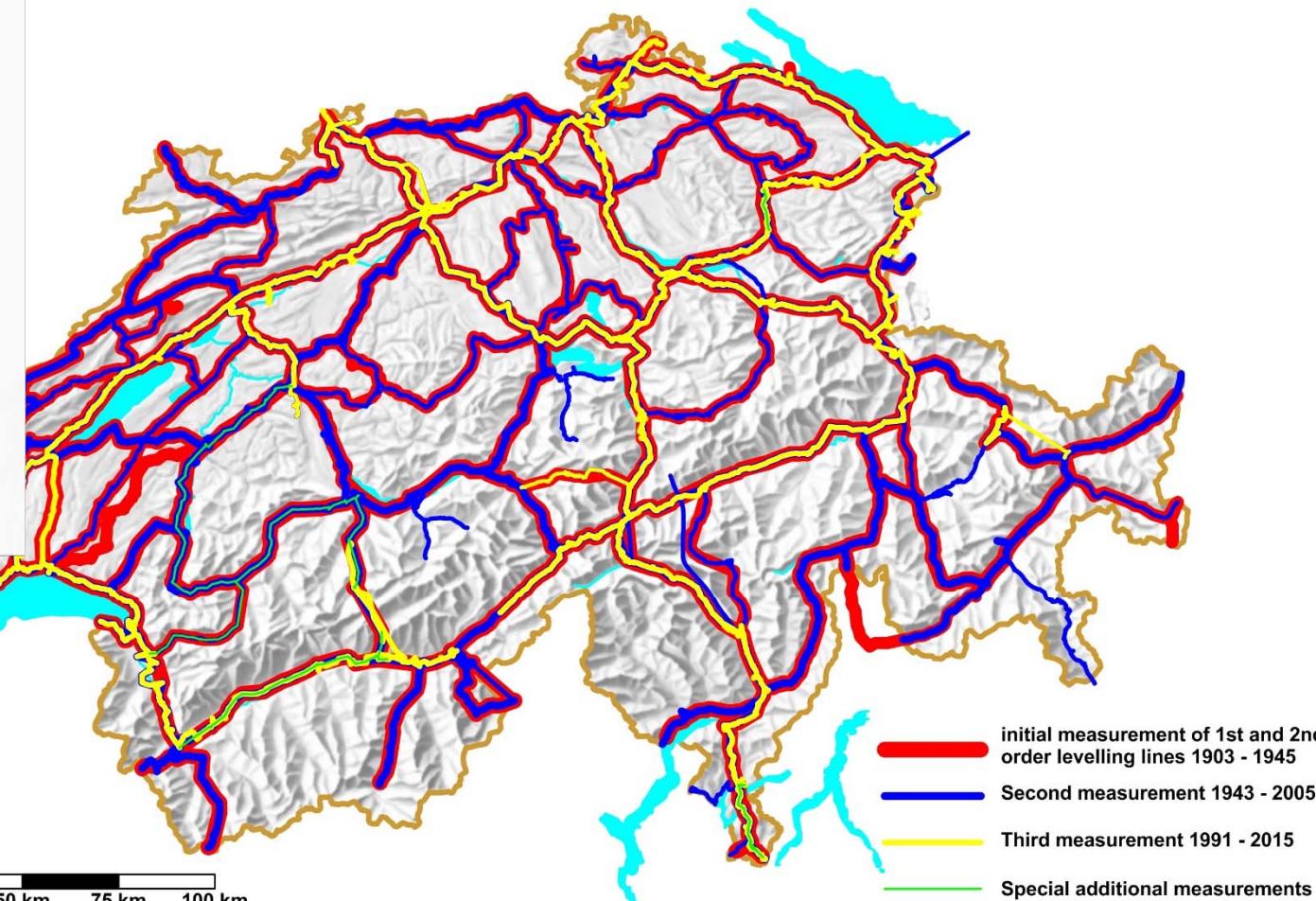




## Wichtige Zeitreihen in der LV Präzisionsnivelllement

- Landeshöhennetz  
1903 – 2015
- 2 – 3 Epochen je Linienabschnitt
- Nivellement ist nach wie vor genauestes Messverfahren in der geodätischen Landesvermessung
- Wiederholungsmessung mindestens alle 50 Jahre

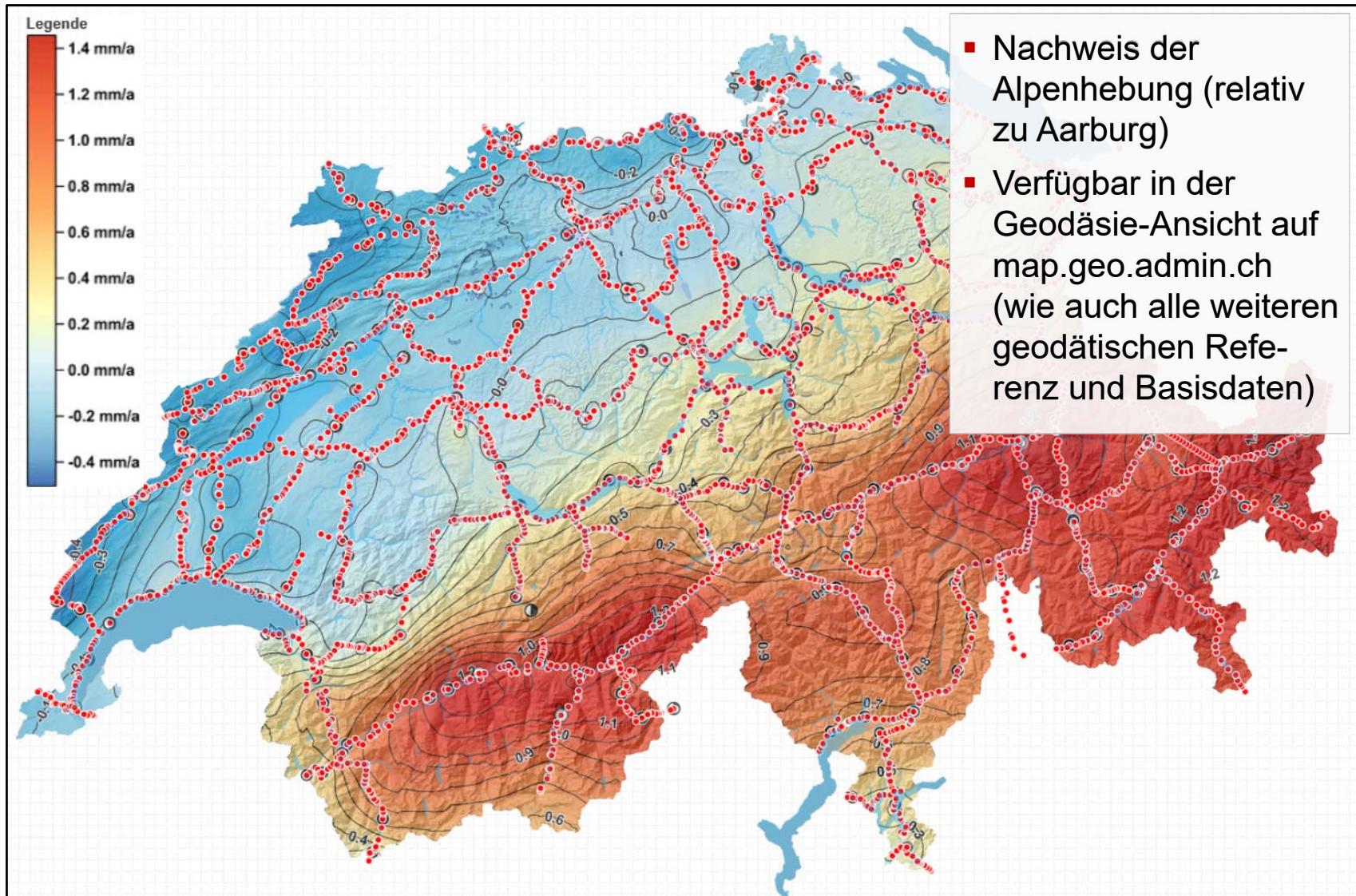
## Séries de temps importants dans le MN: nivelllement de précision





## Wichtige Zeitreihen in der LV: Alpenhebung

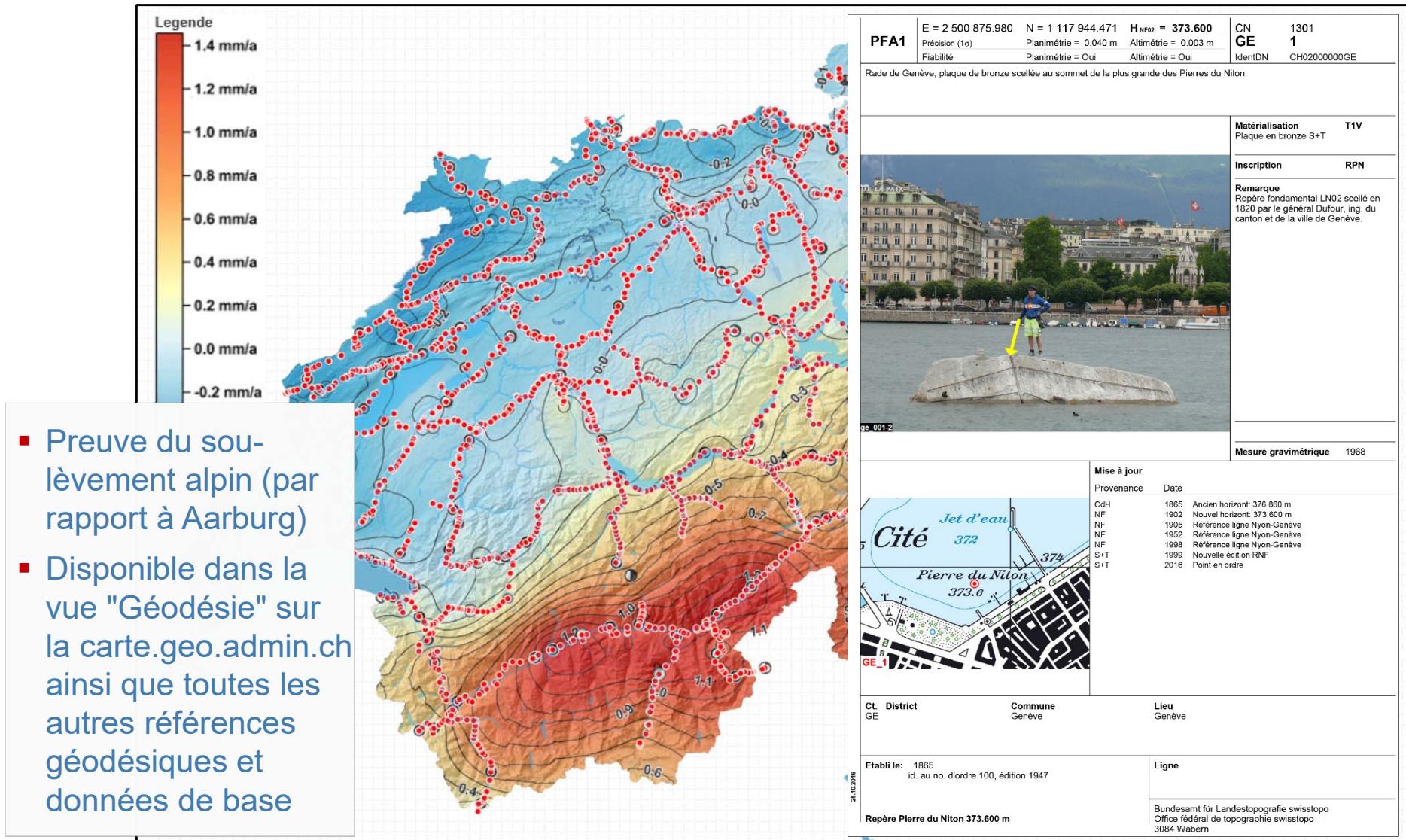
## Séries de temps importants dans le MN: levé des Alpes





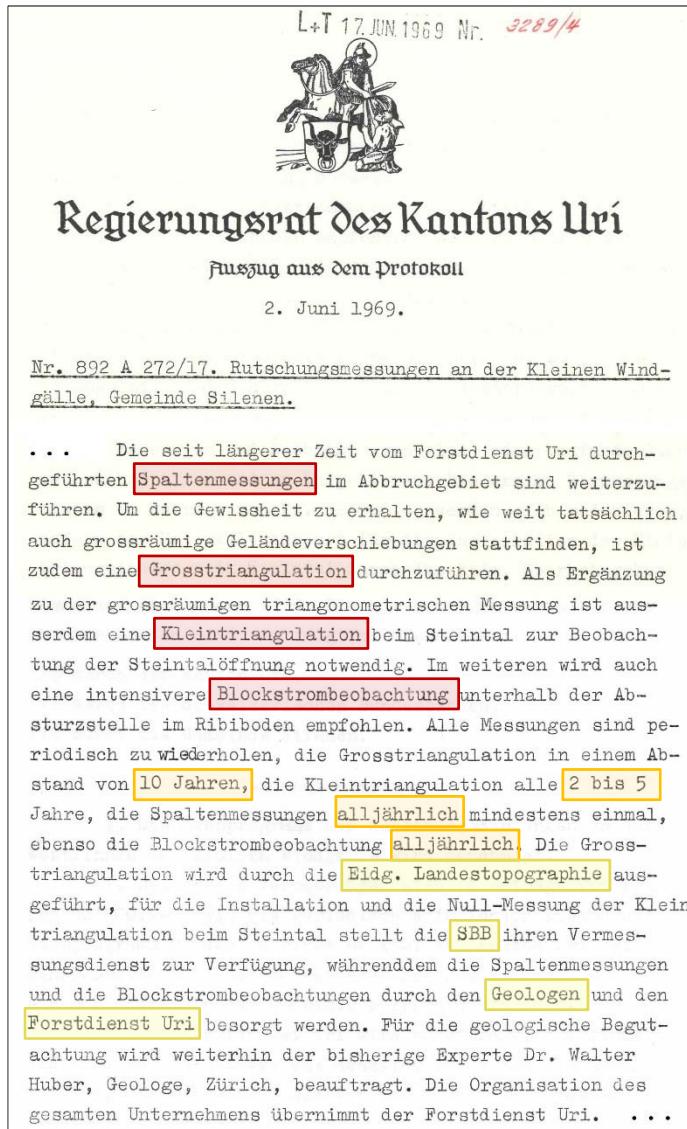
## Wichtige Zeitreihen in der LV: Alpenhebung

## Séries de temps importants dans le MN: levé des Alpes





# Überwachungsmessungen: Chli Windgälle – Kanton Uri I

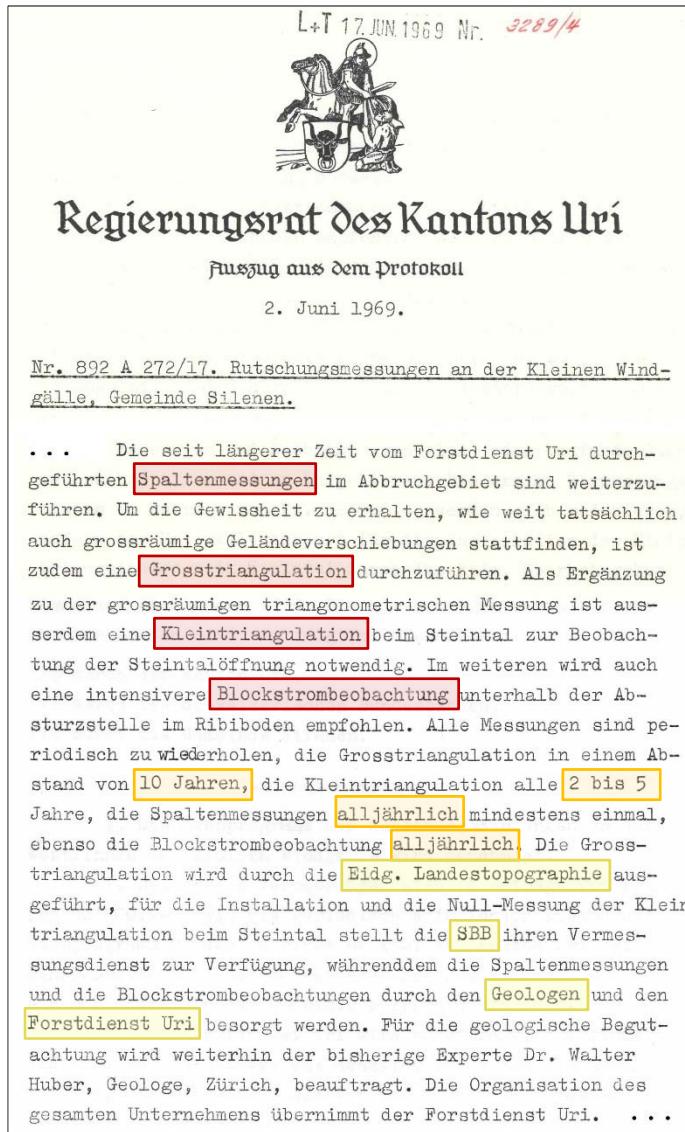


# Mesures de surveillance Chli Windgälle – Canton Uri I

- Am Anfang stand ein Regierungsratsbeschluss vom 2. Juni 1969, welcher ein (konzises) Überwachungskonzept mit 4 Massnahmen skizzierte:
  - 1. Spaltenmessungen**  
Alljährlich durch Geologe / Forstdienst
  - 2. Grosstriangulation**  
Alle 10 Jahre durch Landestopographie
  - 3. Kleintriangulation**  
Alle 2 – 5 Jahre durch die SBB
  - 4. Blockstrombeobachtungen**  
Geologe und der Forstdienst Uri
- Als Nullmessung wurden (mutmasslich) die trigonometrischen Messungen aus der «vermessungstechnischen Erschliessung» aus dem Jahre 1933 beigezogen
- Weitere Messungen folgten 1966, 1969, 1984, 1993, 2003 und 2015
- Zuerst nur trigonometrisch, dann mit Distanzmessungen und seit 2015 mit GNSS



# Überwachungsmessungen: Chli Windgälle – Kanton Uri II



# Mesures de surveillance Chli Windgälle – Canton Uri II

<b>LFP2</b> <small>LV95</small> <b>E = 2 697 503.243 N = 1 183 493.349 H<sub>LN02</sub> = 2985.850</b> Genauigkeit (1σ) Lage = 0.020 m Höhe = 0.050 m Zuverlässigkeit erfüllt Lage = Ja Höhe = Ja		<b>TSP2</b> <small>LV03</small> <b>y = 697 502.690 x = 183 493.740</b> Genauigkeit (1σ) Lage = 0.020 m Zuverlässigkeit erfüllt Lage = Ja	<b>LK</b> <b>Nr</b> <b>1192 330 0</b> <small>NBIdent : CH0300001192</small>																		
<b>Chli Windgällen</b> <p><b>Kennzeichnung</b> Lochbolzen Exz: 4 Kreuze</p> <p><b>begehbar</b></p> <table> <tr><td>Azimut exz. Vers.</td><td><b>g c</b></td></tr> <tr><td>Kirche Erstfeld kath.</td><td>330.180</td></tr> <tr><td>Kreuz A</td><td>25.720</td></tr> <tr><td>Kreuz B</td><td>83.620</td></tr> <tr><td>Kreuz C</td><td>227.370</td></tr> <tr><td>Kreuz D</td><td>327.360</td></tr> <tr><td>Kirche Gurtellenberg</td><td>250.360</td></tr> </table>				Azimut exz. Vers.	<b>g c</b>	Kirche Erstfeld kath.	330.180	Kreuz A	25.720	Kreuz B	83.620	Kreuz C	227.370	Kreuz D	327.360	Kirche Gurtellenberg	250.360				
Azimut exz. Vers.	<b>g c</b>																				
Kirche Erstfeld kath.	330.180																				
Kreuz A	25.720																				
Kreuz B	83.620																				
Kreuz C	227.370																				
Kreuz D	327.360																				
Kirche Gurtellenberg	250.360																				
<p><b>vor 2002: Id. m. Pkt. 1. Ord. Kleine Windgällen</b>            GPS: frei            Punkt des Deformationsnetzes Kleine Windgällen</p> <p><b>Nachführung</b></p> <table> <tr><td>1933</td><td>VinO H(Op.442)</td></tr> <tr><td>1934</td><td>Mex</td></tr> <tr><td>25.08.1948</td><td>Vz,Mex</td></tr> <tr><td>31.08.1984</td><td>Verl-ind,Vex,K+HinO</td></tr> <tr><td>20.09.1993</td><td>K+HinO,Vex</td></tr> <tr><td>05.06.2002</td><td>LFP1 &gt; LFP2</td></tr> <tr><td>25.08.2003</td><td>Vz,Mex</td></tr> <tr><td>07.09.2004</td><td>VinO</td></tr> <tr><td>25.10.2016</td><td>VinO</td></tr> </table> <p><b>Bemerkung</b></p>				1933	VinO H(Op.442)	1934	Mex	25.08.1948	Vz,Mex	31.08.1984	Verl-ind,Vex,K+HinO	20.09.1993	K+HinO,Vex	05.06.2002	LFP1 > LFP2	25.08.2003	Vz,Mex	07.09.2004	VinO	25.10.2016	VinO
1933	VinO H(Op.442)																				
1934	Mex																				
25.08.1948	Vz,Mex																				
31.08.1984	Verl-ind,Vex,K+HinO																				
20.09.1993	K+HinO,Vex																				
05.06.2002	LFP1 > LFP2																				
25.08.2003	Vz,Mex																				
07.09.2004	VinO																				
25.10.2016	VinO																				
<small>Erstellt am 25.10.2016</small>	<b>Kt</b> <b>Bezirk</b> <b>Gemeinde</b> <small>Sihlental</small>	<b>Kreis</b> <b>Plan</b> <b>Parz.</b> <small>820</small>	<b>Anm. im GB</b> <small>23.04.2013</small>																		
<b>Erstellung:</b> 12.06.1917 <b>Identität:</b>		<b>Operat:</b> <b>Name:</b> <b>Sektion:</b> <b>Alte Punktnummer:</b> <small>Acht Grad Ost AG 6460 Altdorf</small>																			



## Fotogrammetrische Auswertung des Felssturzgebietes 1936 I



## Analyse photogrammétrique de la zone d'éboulement 1936 I

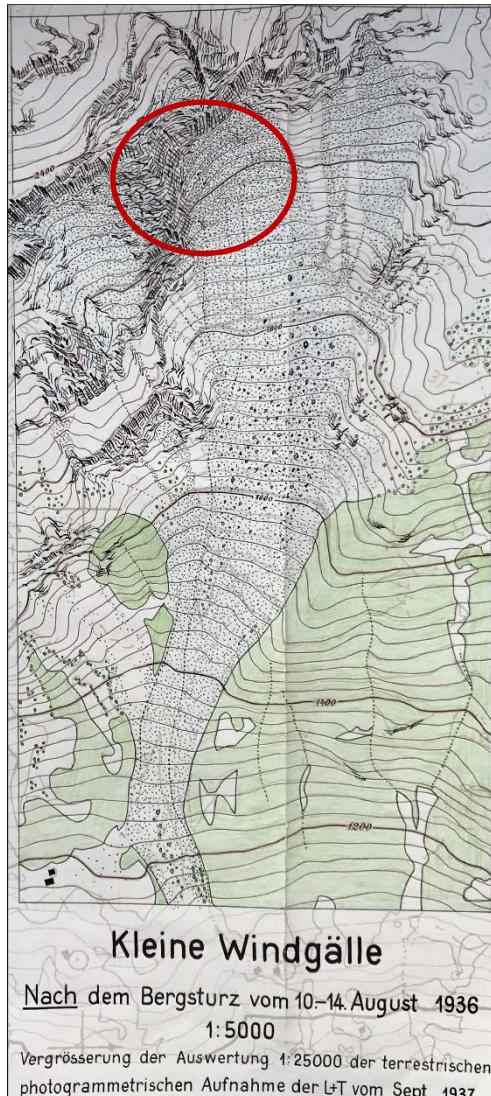
.. Am 10. August 1936 stürzten Felspartien östlich des Rüebabodens, im Mittelstück des Felsbandes zwischen Wildmann und Fenster in die Hohlkehle ab..  
Die gewaltige Wucht des bis an den Rücken gelangten Teils der Felssmasse wurden von diesem gebrochen und es verebbte die Fels- und Schuttbewegung oberhalb des Kilchberges. Kleinere Nachstürze folgten in den Tagen bis zum 14. August.

Aktennotiz L+T - 9. Mai 1939





## Fotogrammetrische Auswertung des Felssturzgebietes 1936 II



## Analyse photogrammétrique de la zone d'éboulement 1936 II

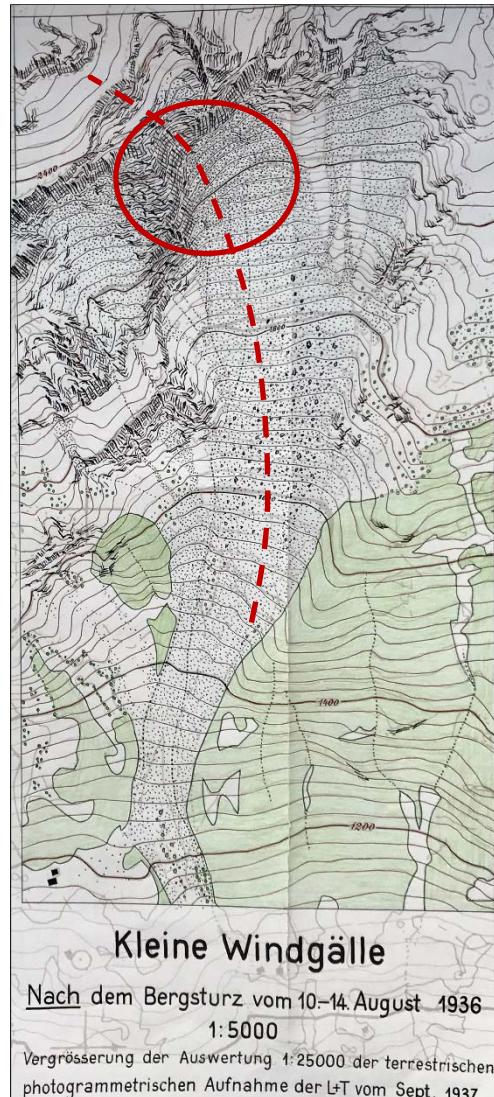
.. Am 10. August 1936 stürzten Feldpartien östlich des Rüebabodens, im Mittelstück des Felsbandes zwischen Wildmann und Fenster in die Hohlkehle ab..  
Die gewaltige Wucht des bis an den Rücken gelangten Teils der Felsmasse wurden von diesem gebrochen und es verebbte die Fels- und Schuttbewegung oberhalb des Kilchberges. Kleinere Nachstürze folgten in den Tagen bis zum 14. August.

Aktennotiz L+T - 9. Mai 1939

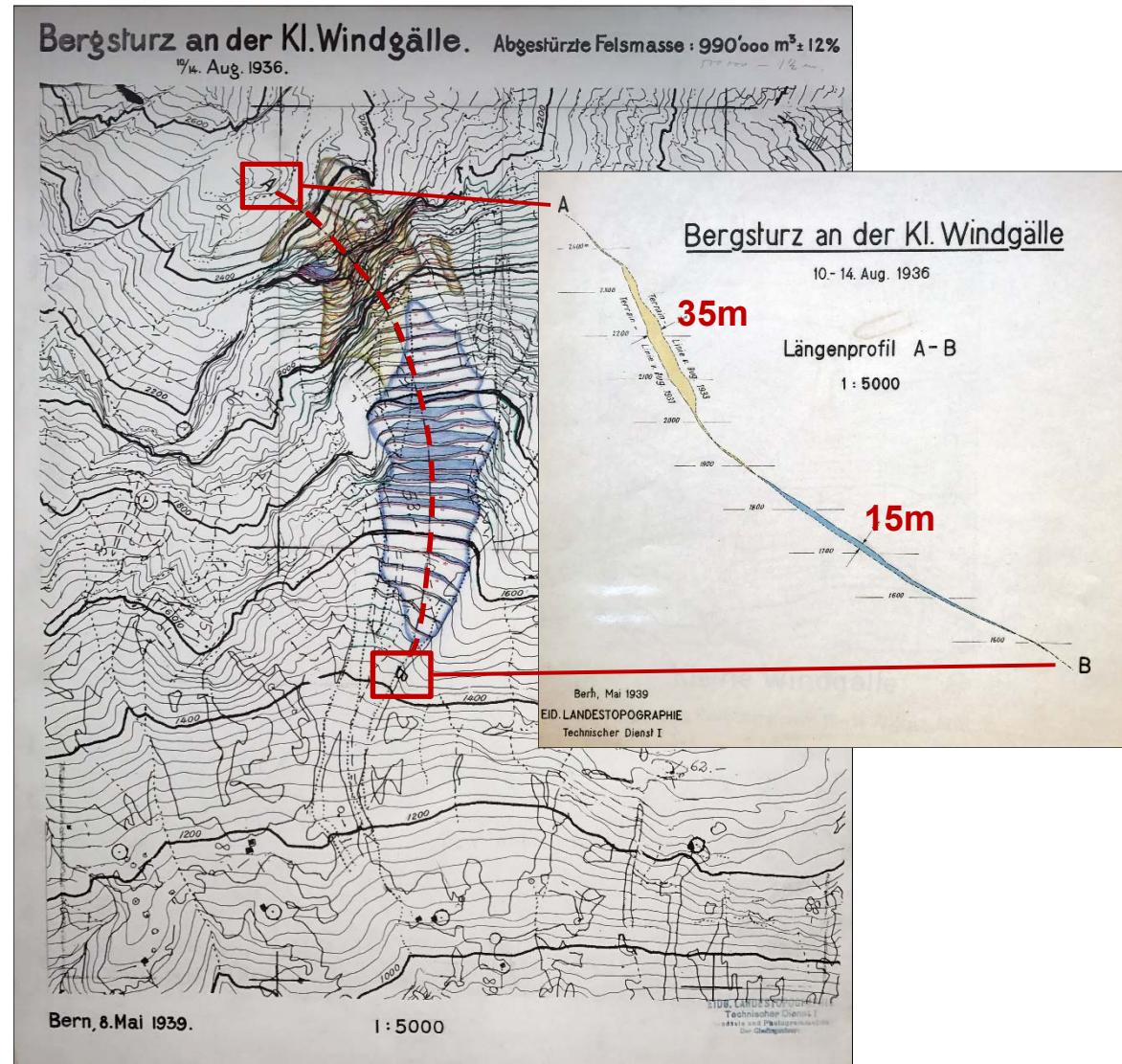




# Fotogrammetrische Auswertung des Felssturzgebietes 1936 III

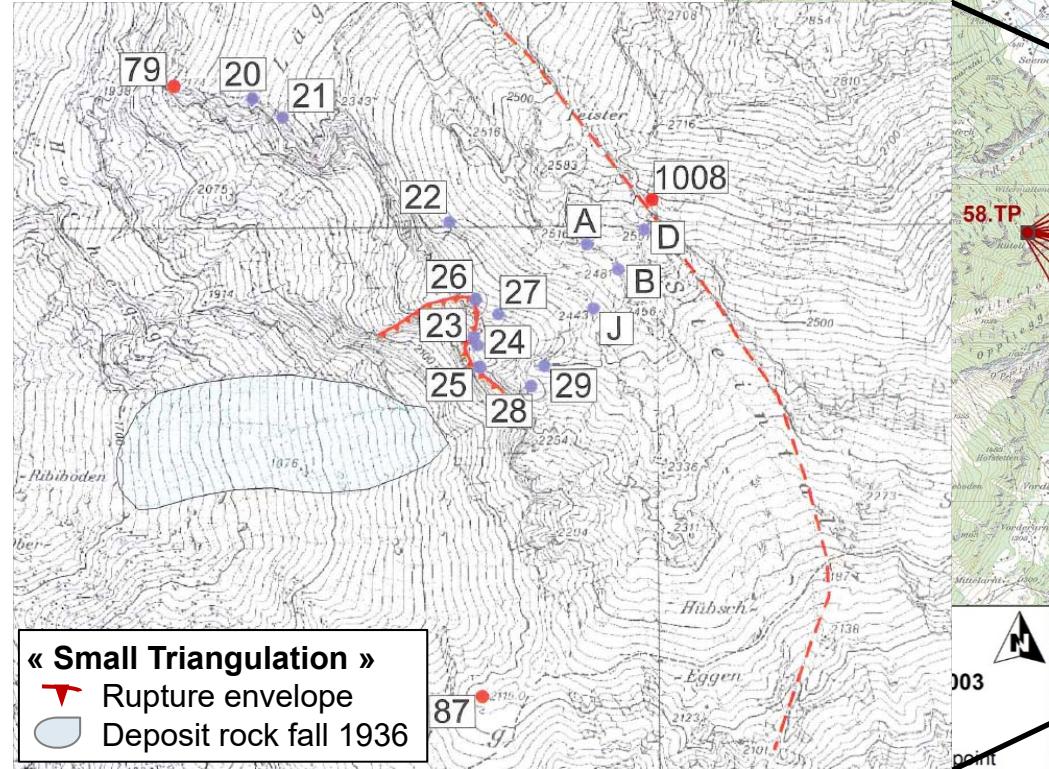


## Analyse photogrammétrique de la zone d'éboulement 1936 III

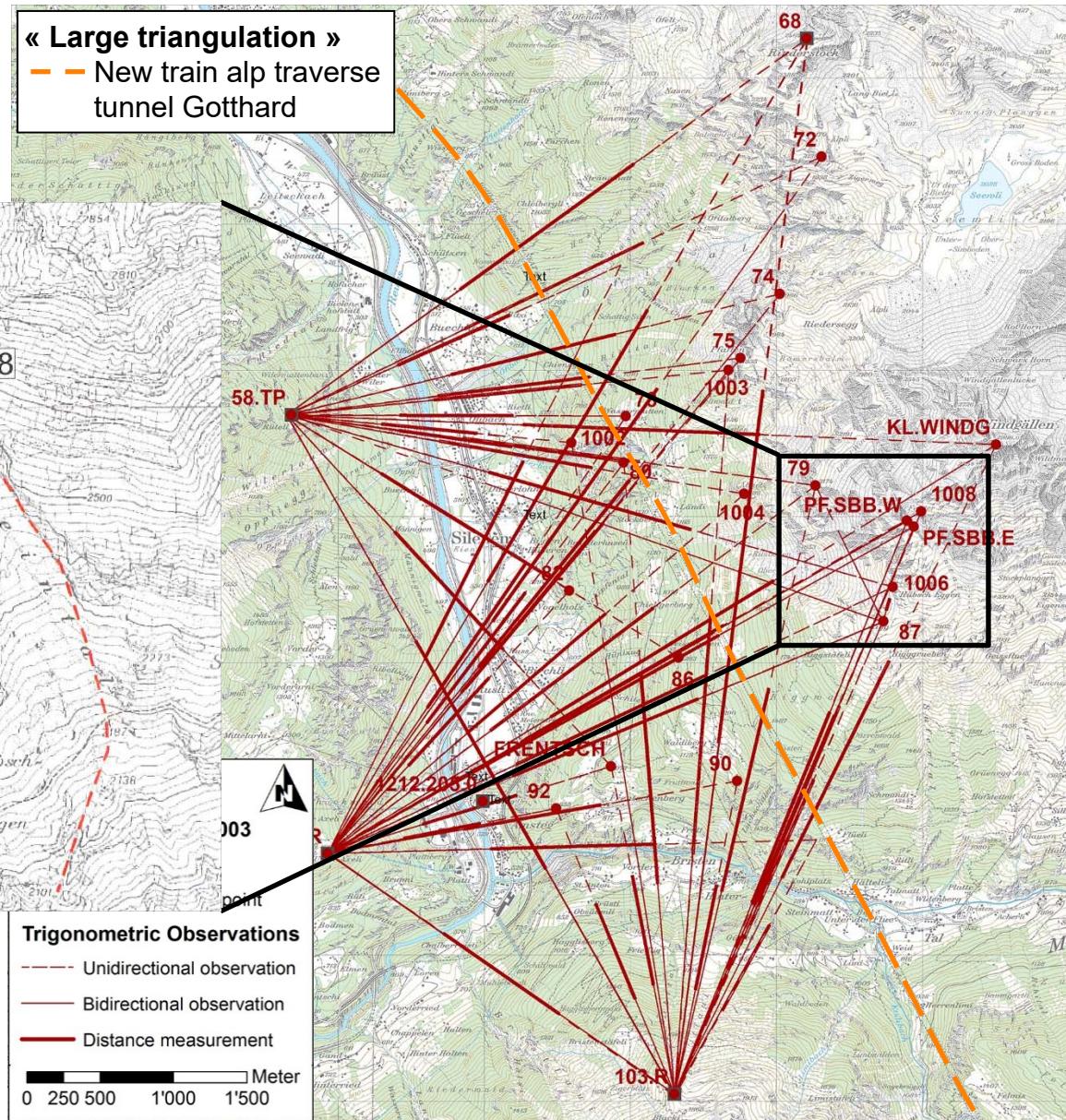




# «Alte» geodätische Netzanlage «Vieux» réseau géodésique



Source: Kellerhals + Haefeli AG 2011

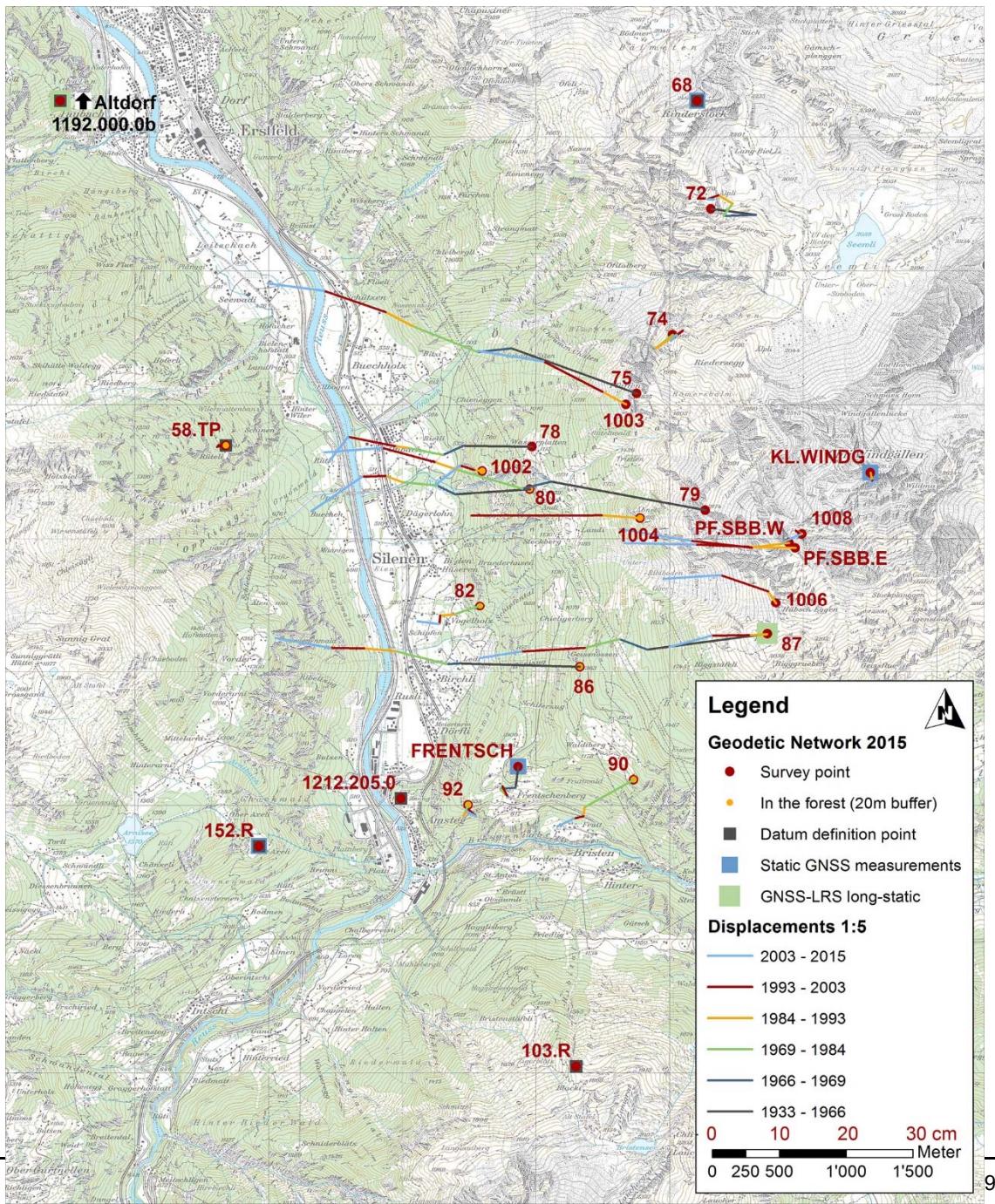




# «Neue» GNSS-Netzanzlage

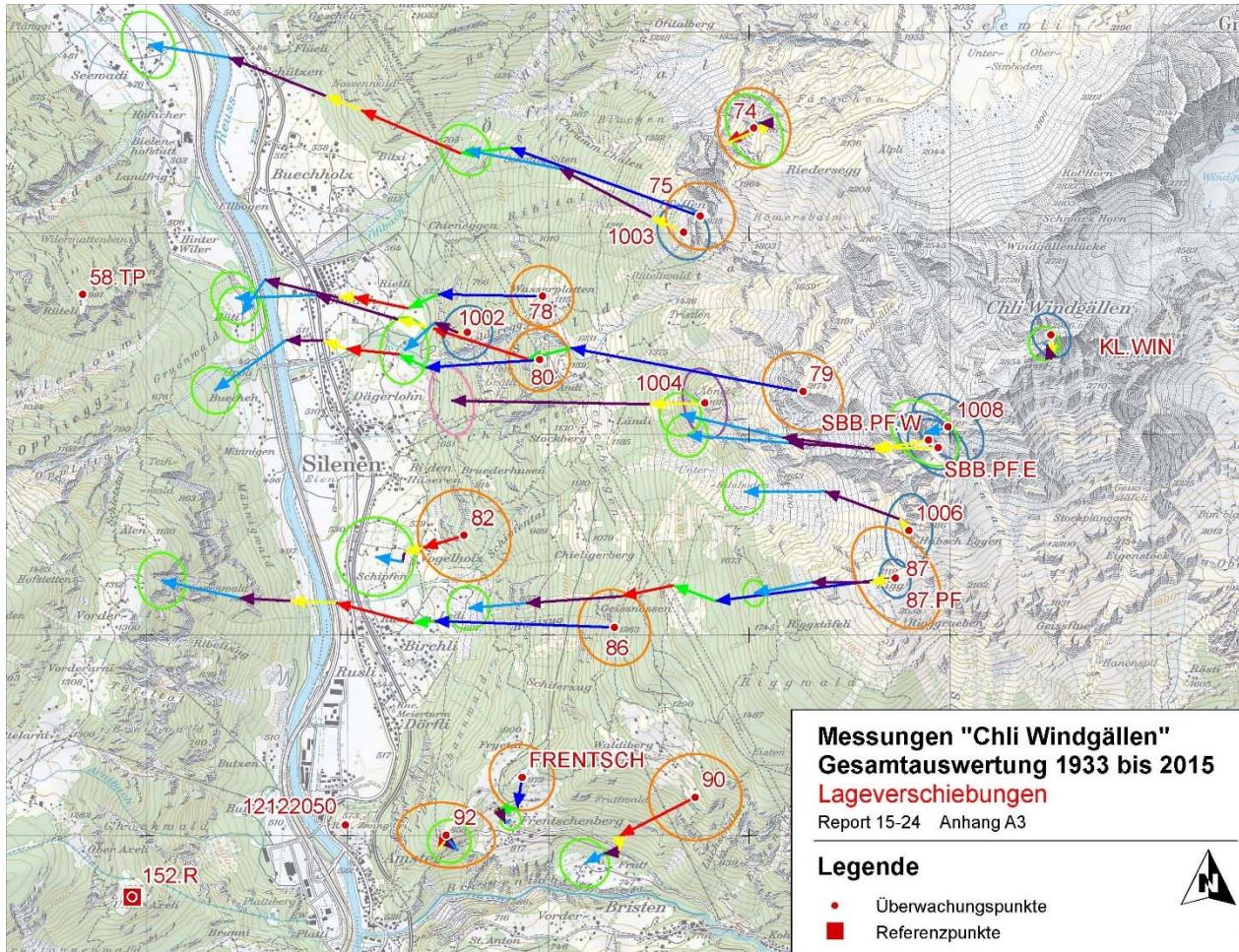
## «Nouveau» réseau GNSS

- 26 Vermessungspunkte, wobei sich 8 in Waldgebiet befinden
  - (Lang-) Statische Messungen auf 6 Punkten, u.a. zur Verbesserung der Höhenbestimmung
  - 2 RTK-VRS Messungen auf allen Punkten mit swipos
  - 26 points de mensurration, dont 8 dans le foret
  - Mesures (long-) statique sur 6 points pour améliorer la détermination des altitudes
  - 2 mesures RTK-VRS sur tous les points avec swipos





# Lageverschiebungen Déplacements planimétriques



**Messungen "Chli Windgällen"**  
Gesamtauswertung 1933 bis 2015  
Lageverschiebungen  
Report 15-24 Anhang A3

## Legende

- Überwachungspunkte
- Referenzpunkte

## Verschiebungsvektoren

- 1966
- 1993
- 1969
- 2003
- 1984
- 2015

## Relative Ellipsen (95%)

- 1933-2015
- 2003-2015
- 1984-2015
- 1984-2003
- 1993-2003

Situation 1:25'000

0 200 400 600 800 1'000 m

Lageverschiebungen  
Konfidenzellipsen (95%) 1:5

0 40 80 120 160 200 mm

Nationales Koordinatensystem LV95 (E/N)

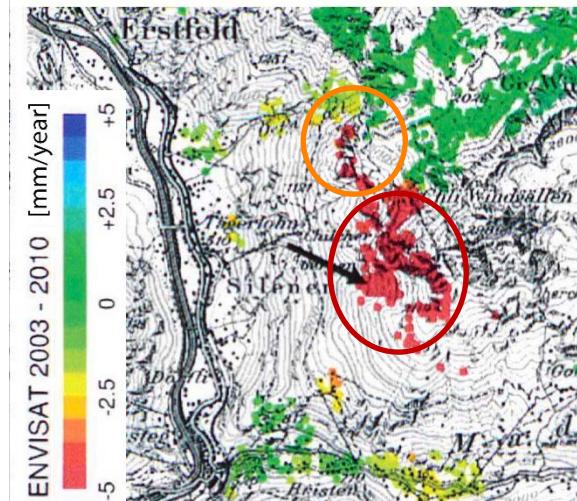
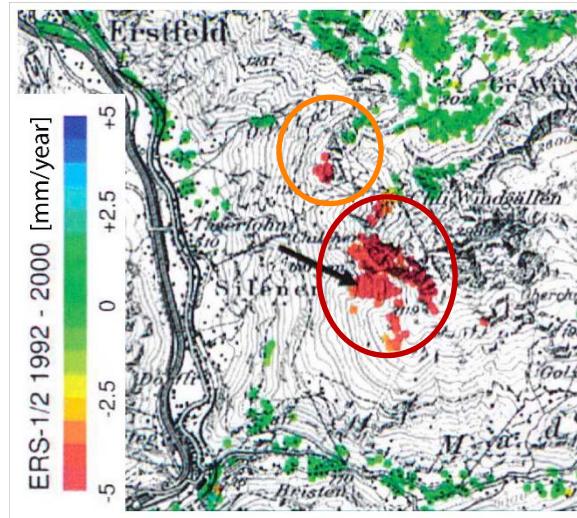
März 2016

**swisstopo** Geodäsie  
Lageverschiebungen.mxd

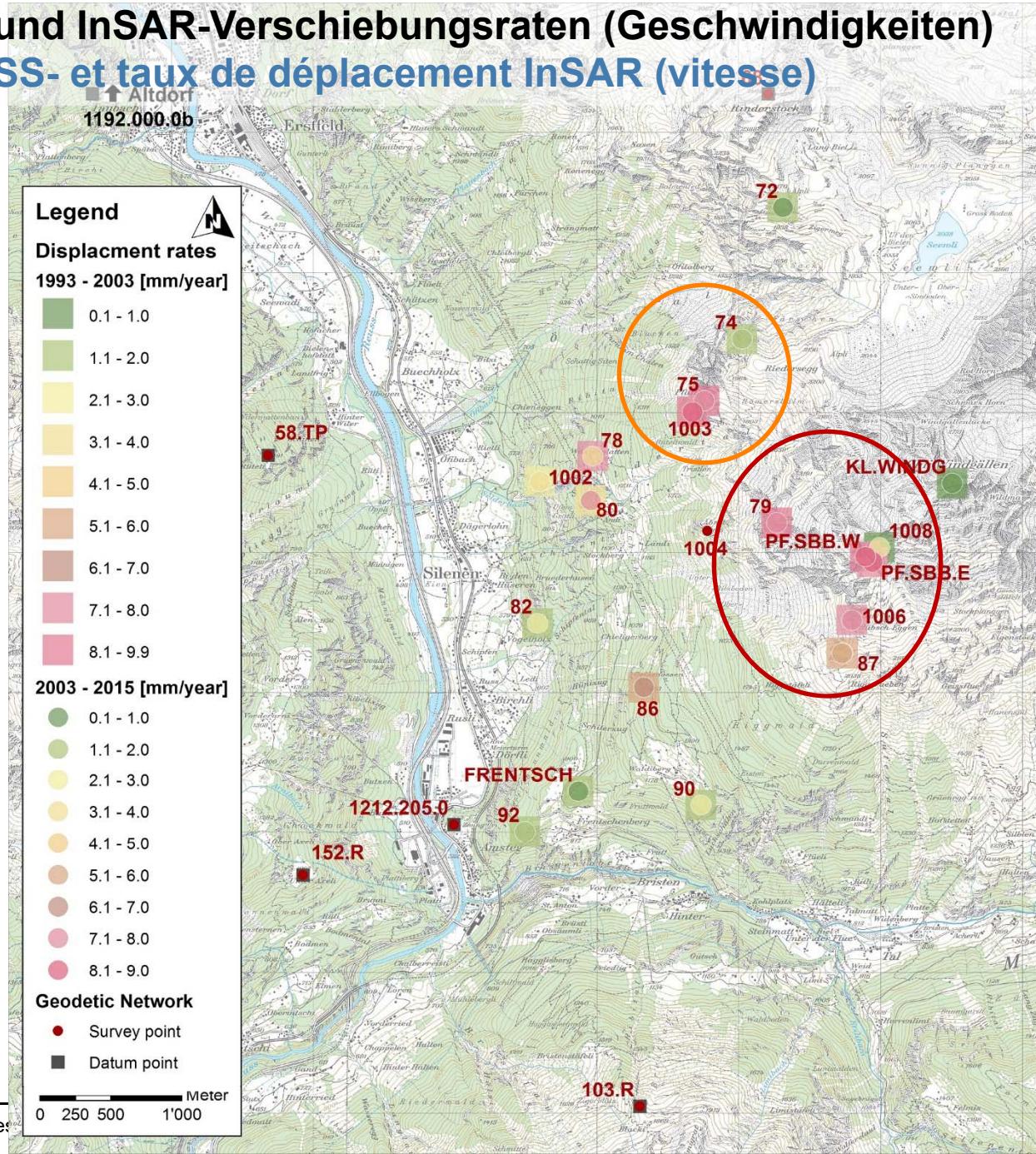


# Vergleich GNSS- und InSAR-Verschiebungsraten (Geschwindigkeiten)

## Comparaison GNSS- et taux de déplacement InSAR (vitesses)



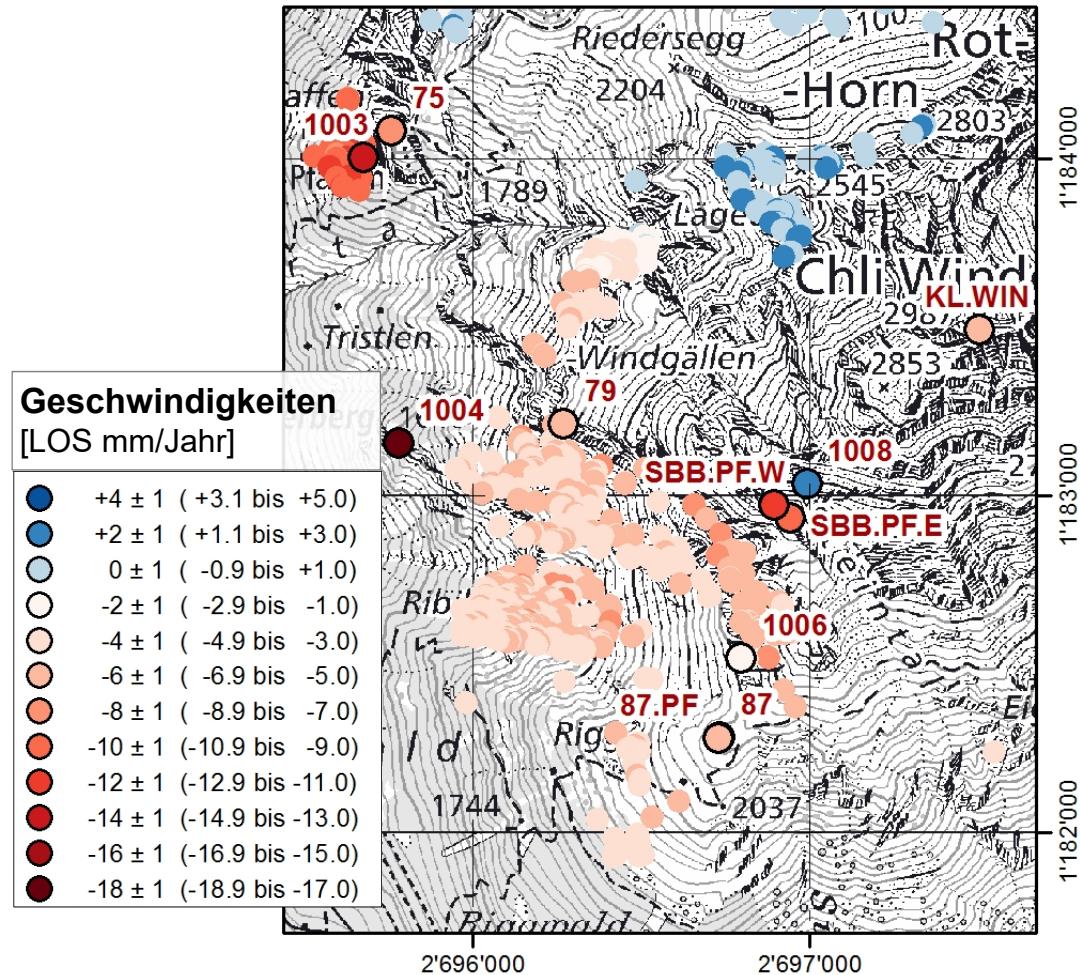
Quelle: SBB / Gamma Remote Sensing 2013





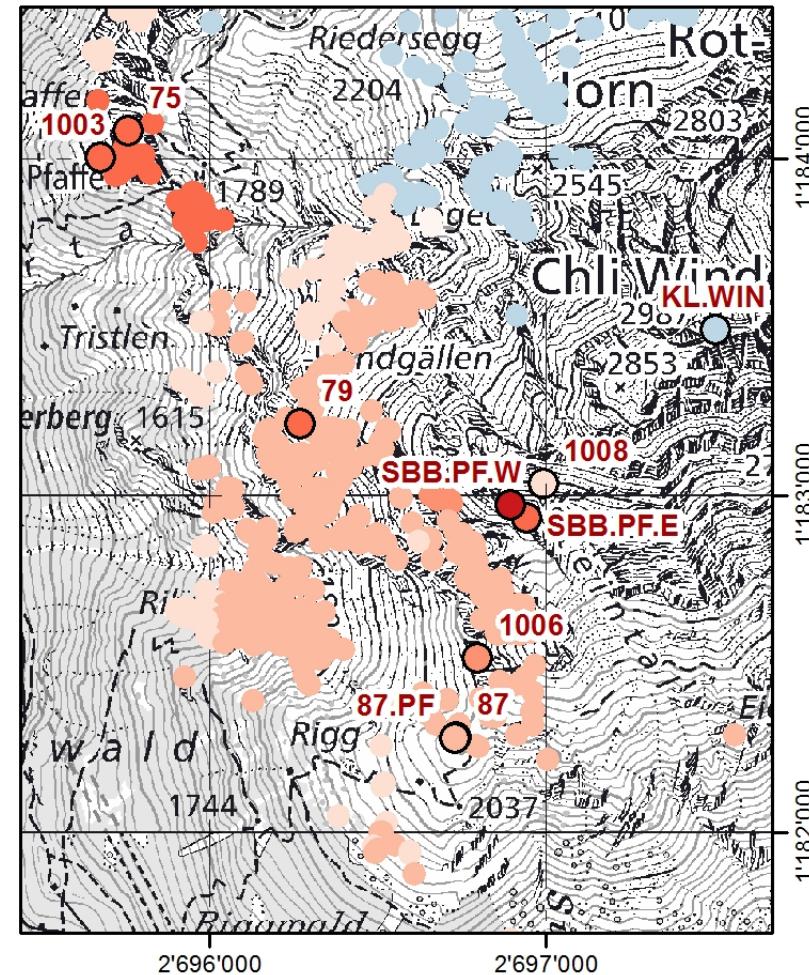
## Detailvergleich Geschwindigkeiten im Gebiet der «Chli Windgällen»

1993–2003 (SAR: 1992–2000)



## Analyse détaillé pour les vitesses dans la zone du Petit Windgällen

2003–2015 (SAR: 2003–2010)





# Inhalt

## 1. Einführung

Matthias Kistler – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Grundlagen der Zeitreihenanalyse
- Anwendungsbeispiele aus der LV und IV
- Wichtige Zeitreihen in der geodätischen Landesvermessung

## Introduction

Bases pour l'analyse des séries de temps

Exemple d'applications pour la MN et MT

Séries de temps importantes pour la mensuration national géodésique

## 2. Überwachung des Felssturzgebietes an der Chli Windgälle 1933 – 2015

### Surveillance de la zone de glissement au Chli Windgälle 1933 – 2015

Lukas Eggimann – Abteilungsleiter Naturgefahren · Amt für Forst und Jagd Kanton Uri

- Geschichte und Geologie
- Überwachungskonzept
- Pilotprojekt terr. Radarinterferometrie

Histoire et géologie

Concept de surveillance

Projet pilote radar interférométrie terrestre

## 3. 100 Jahre Landesnivelllement im Simplontunnel

### 100 ans de nivelllement fédéral dans le tunnel du Simplon

Andreas Schlatter – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Landesnivelllement und rezente Bewegungen
- Messanlage und Deformationsanalyse

Nivellement fédéral et mouvements récents

Installation de mesure et analyse de déformation

## 4. 10 Grundlagen- und Überwachungsnetz Mont Terri

### 10 ans réseau de base et de surveillance au Mont Terri

Peter Mahler - Wissenschaftlicher Mitarbeiter · Institut Geomatik FHNW

- Netzanlage und -Erweiterungen
- Präzisions-Tunnelvermessung
- Deformationsanalyse

Mise en place du réseau et extensions

Mesures de précisions dans les tunnels

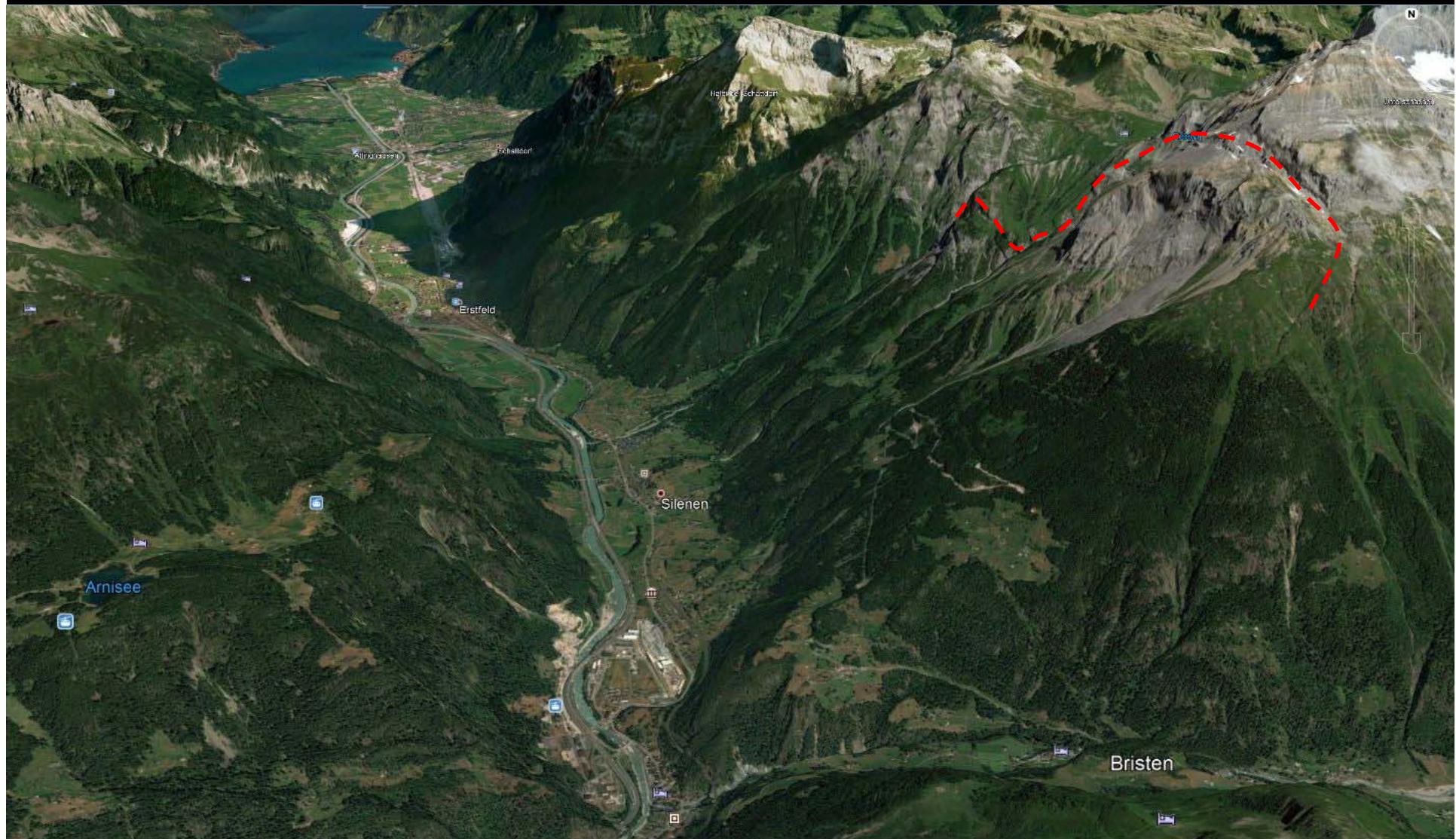
Analyse des déformations

Hinweis: Zeitreihen von GNSS-Permanentstationen / CHTRF werden in der Kolloquiumsreihe 2018/19 vorgestellt

## Felssturzgebiet Chli Windgällen



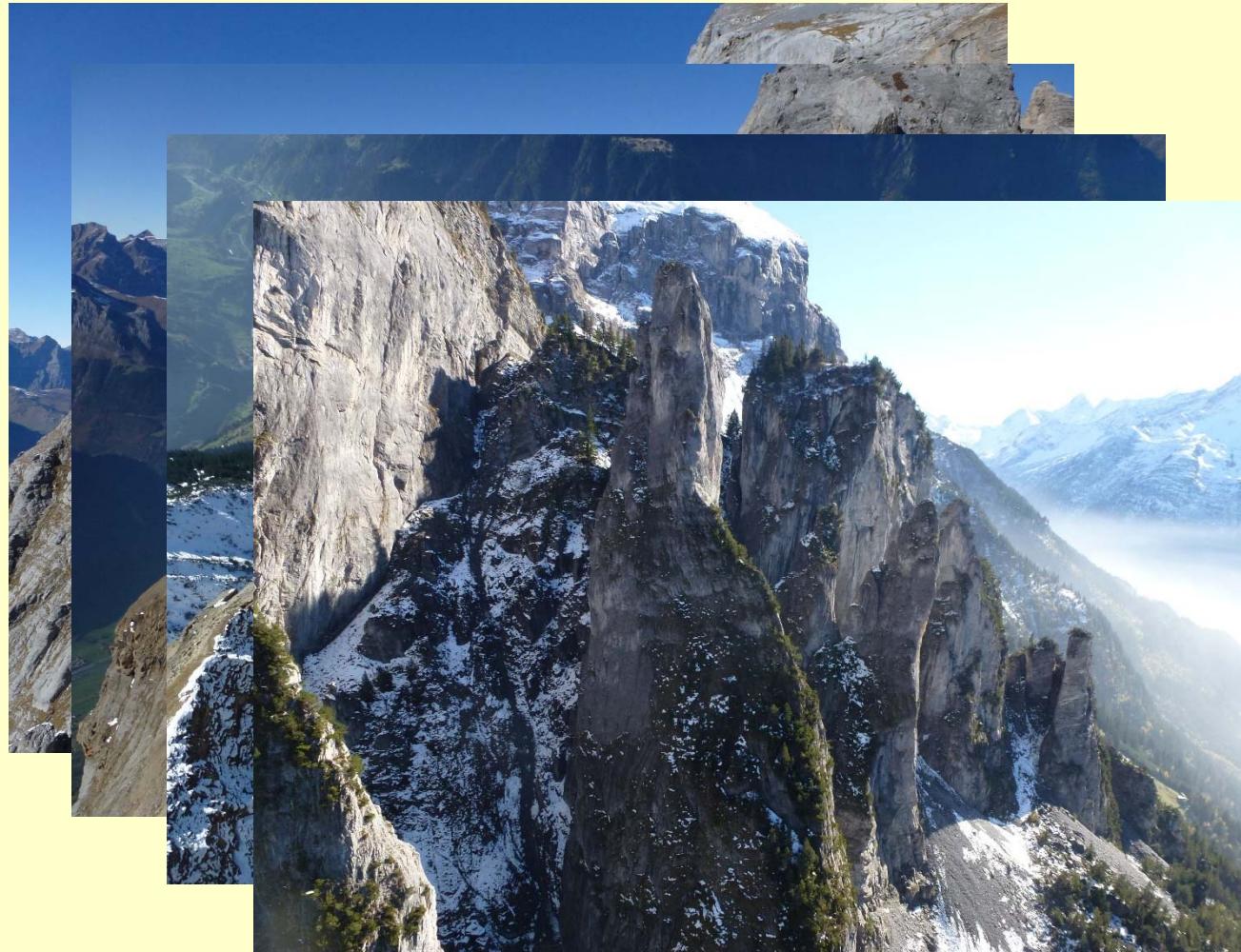
## Geographische Lage



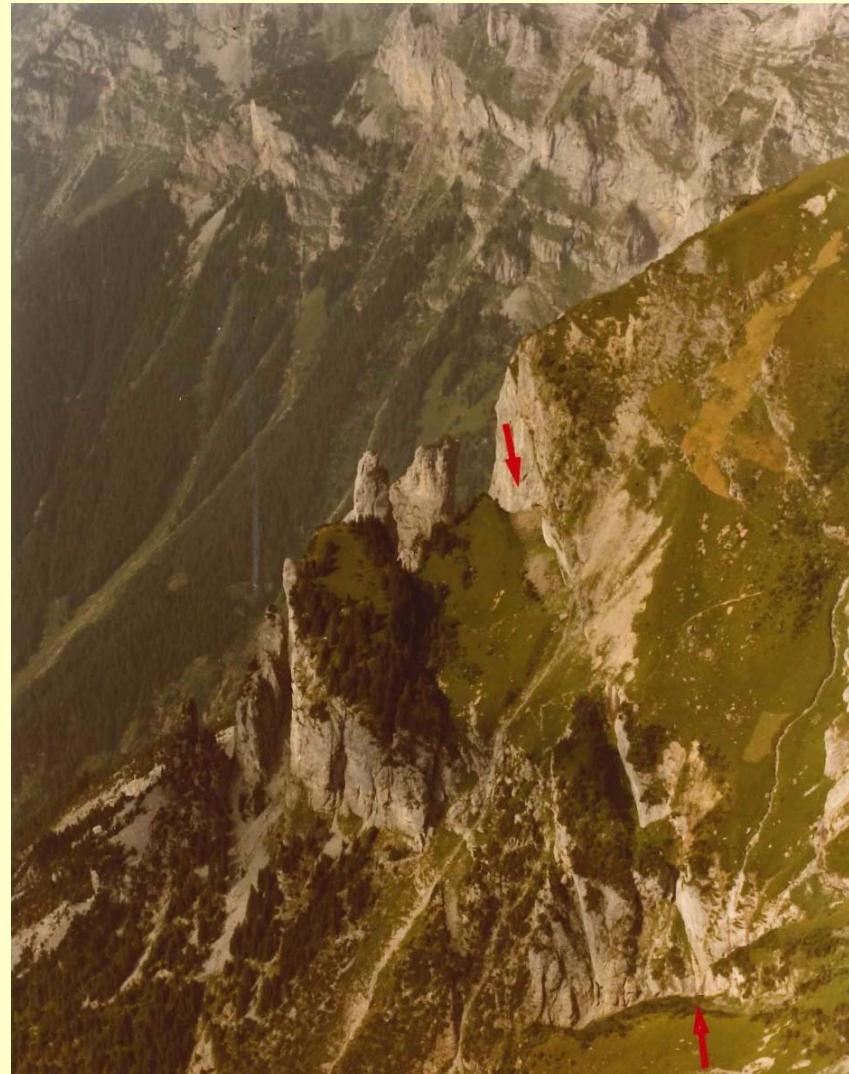
## Übersicht



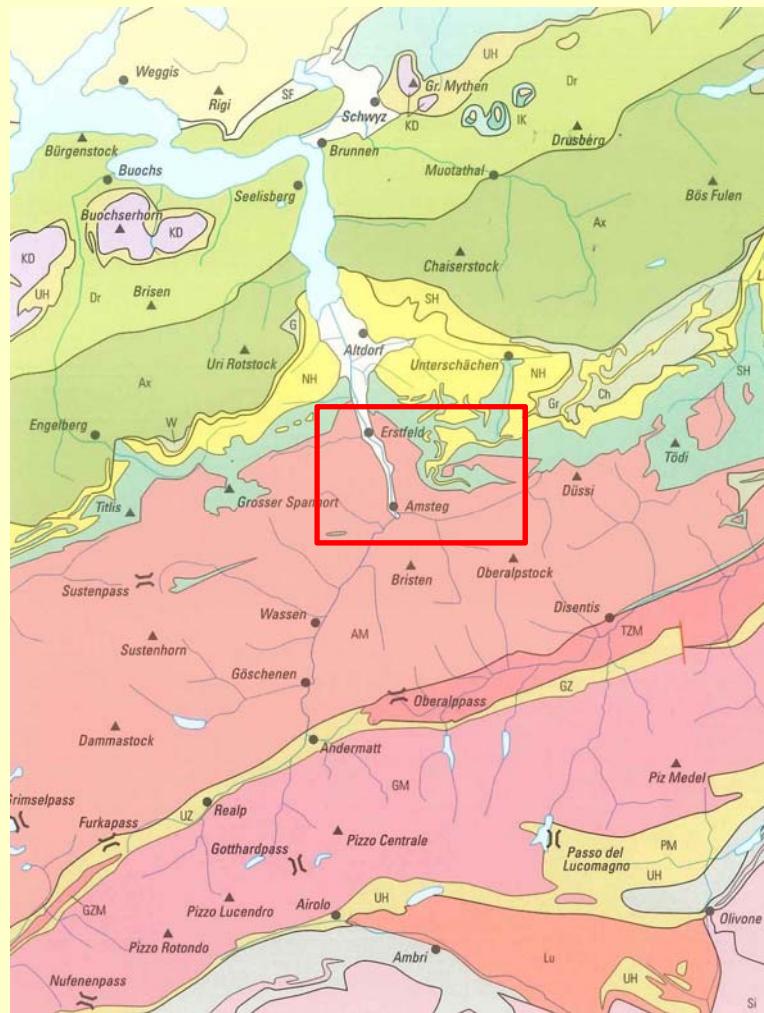
# Übersicht



## Übersicht

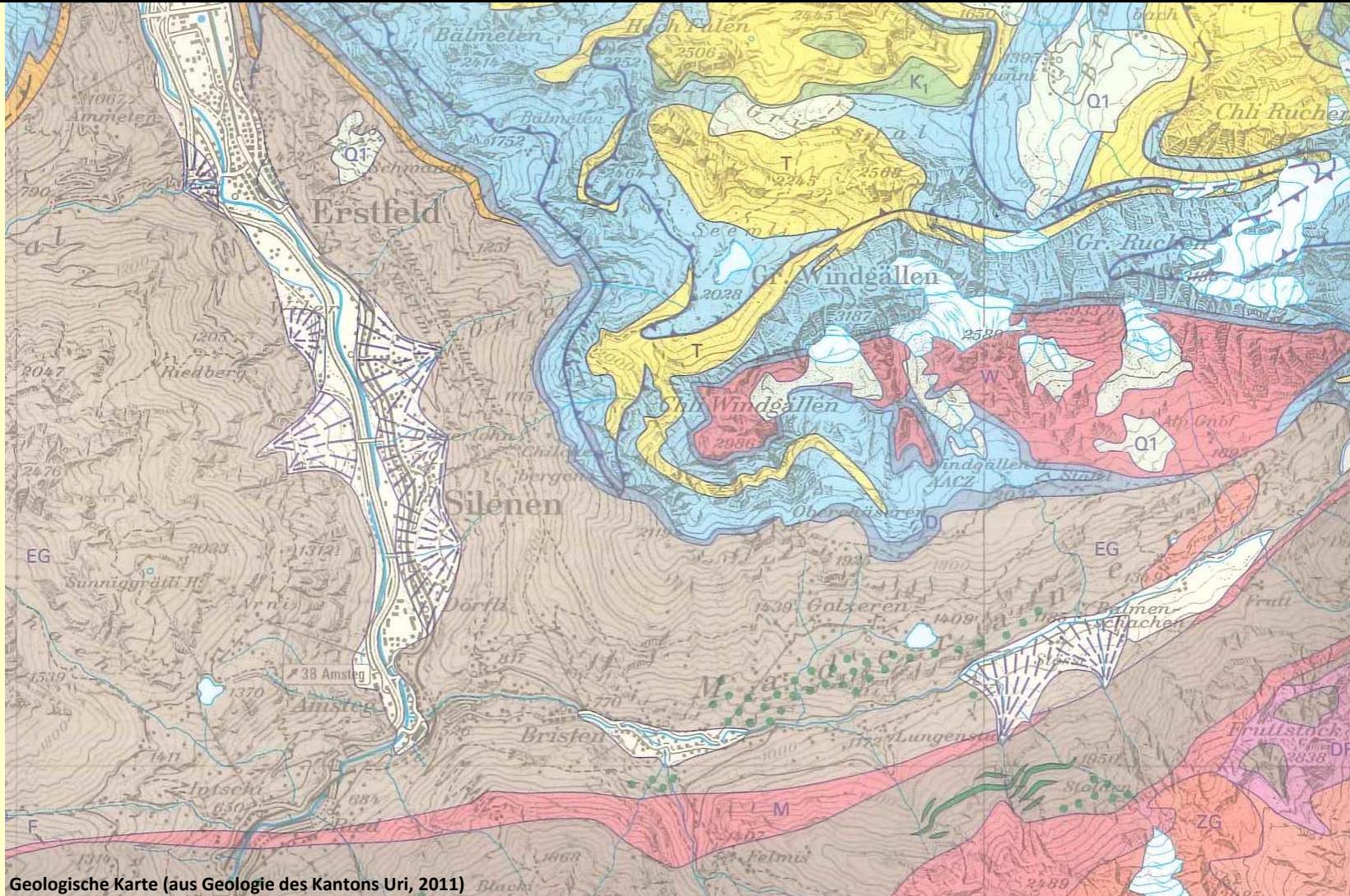


## Geologie



Tektonische Übersichtskarte (aus Geologie des Kantons Uri, 2011)

## Geologie



# Geologie

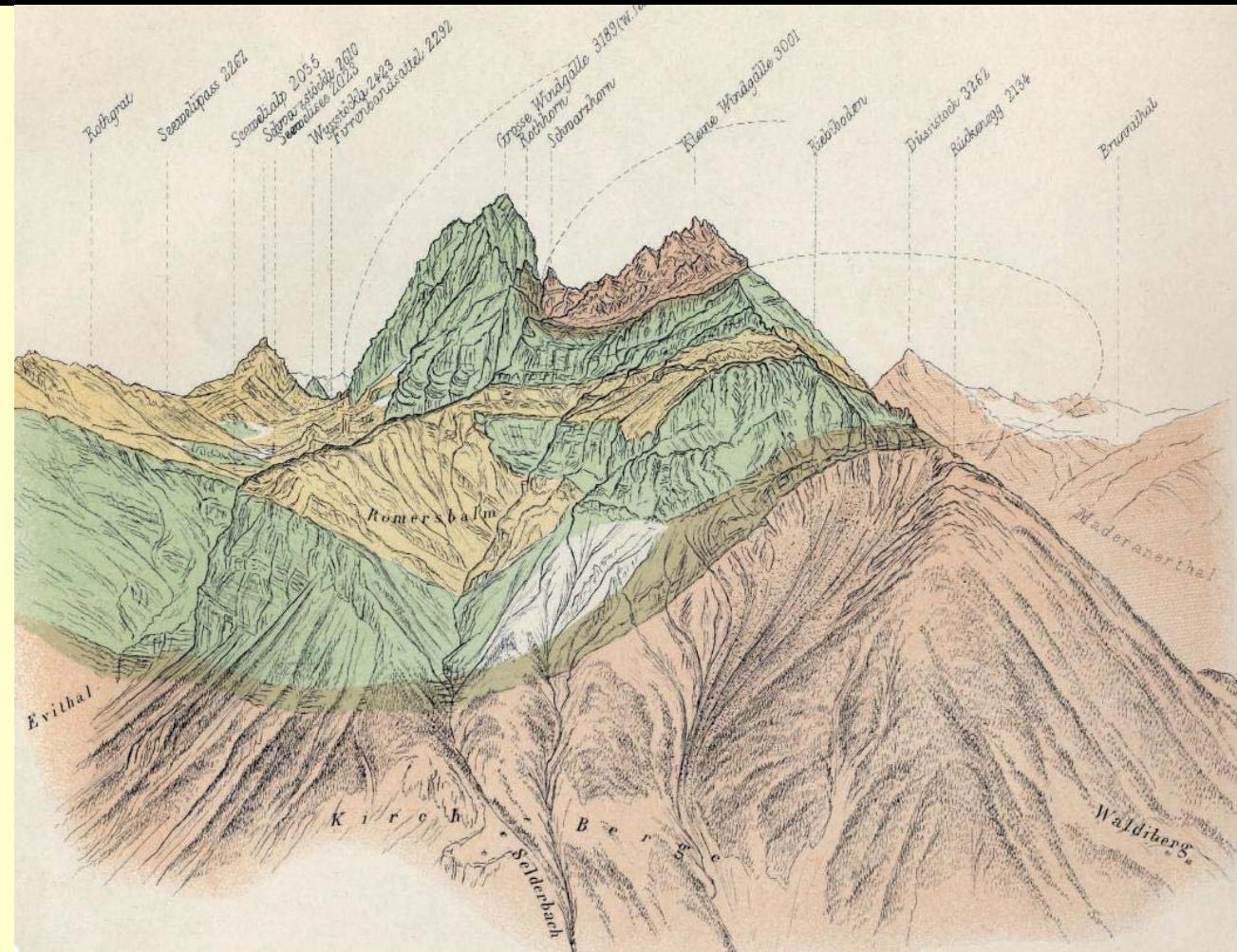
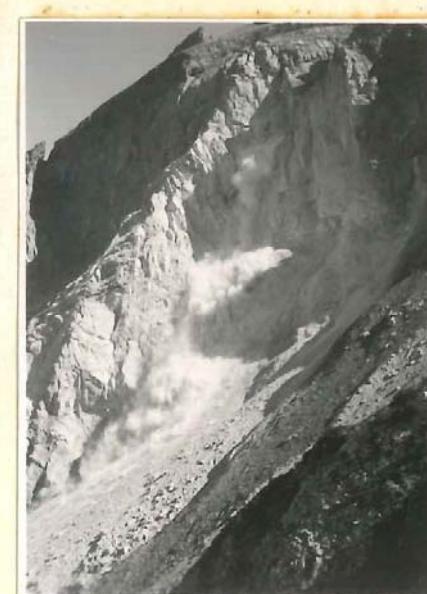


Abb. 1. Albert Heims Zeichnung der Windgällen, von W gesehen. Rosa: im Vordergrund steilstehende Gneise usw. des Grundgebirges, an der Kleinen Windgällen spätpaläozoische Quarzporphyre; braun: mittlerer Jura; blau: oberjurassische Kalke; gelb: Alttertiär, vorwiegend eocaener Flysch. Aus: HEIM, 1878, Tafel X, Abb. 3.

## Frühere Ereignisse



## Frühere Ereignisse

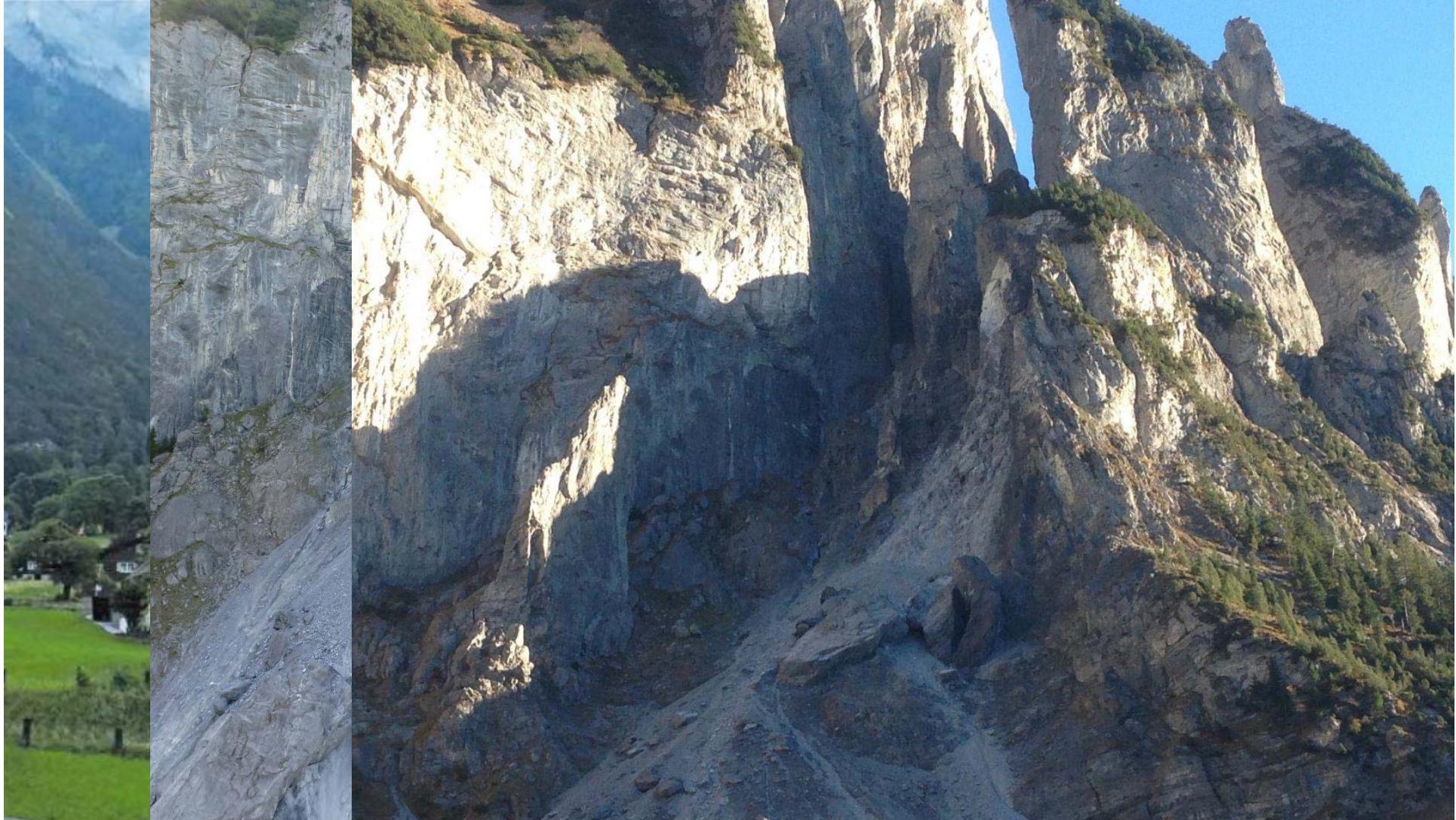


Abbruch am  
2.9.36.

## Frühere Ereignisse



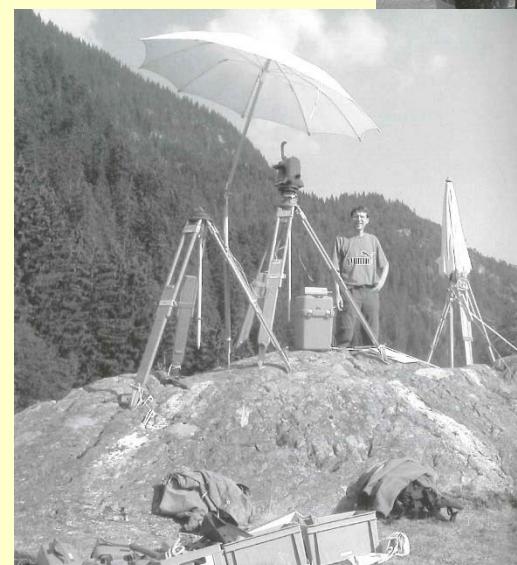
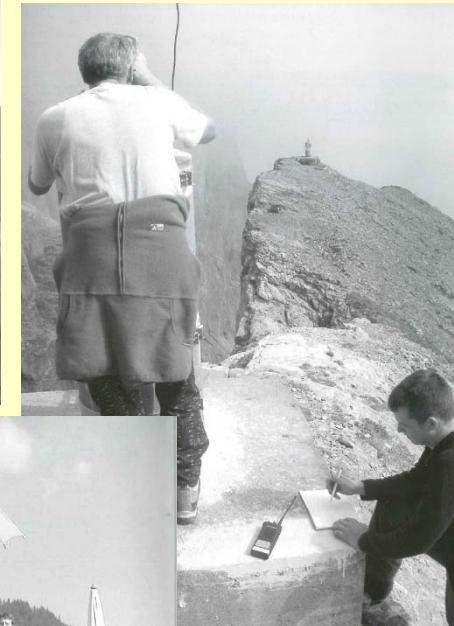
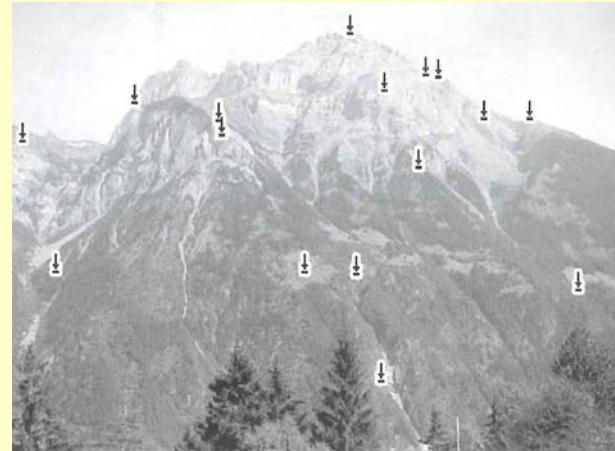
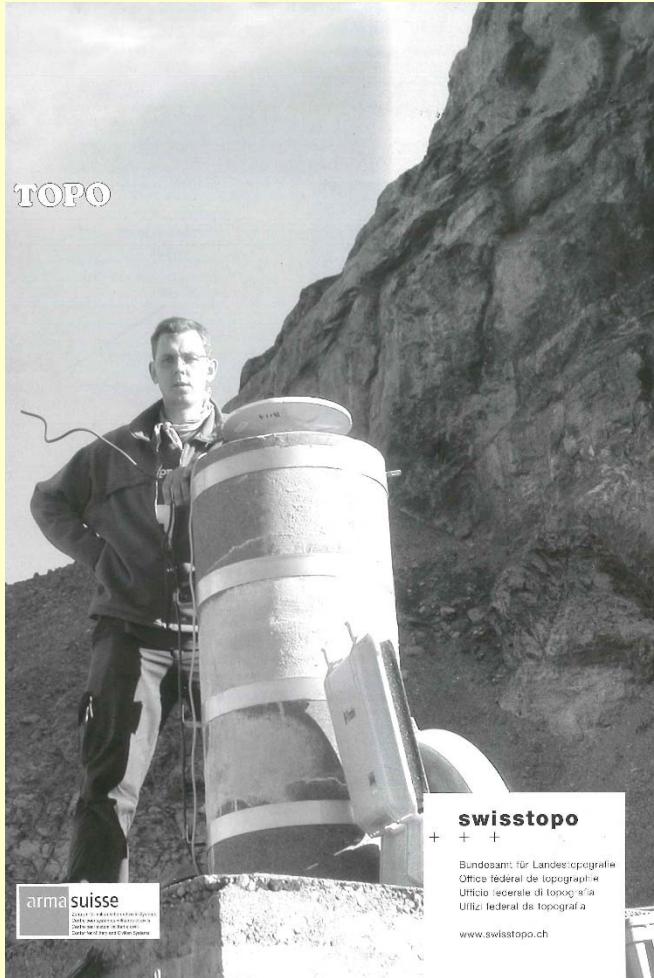
## Frühere Ereignisse



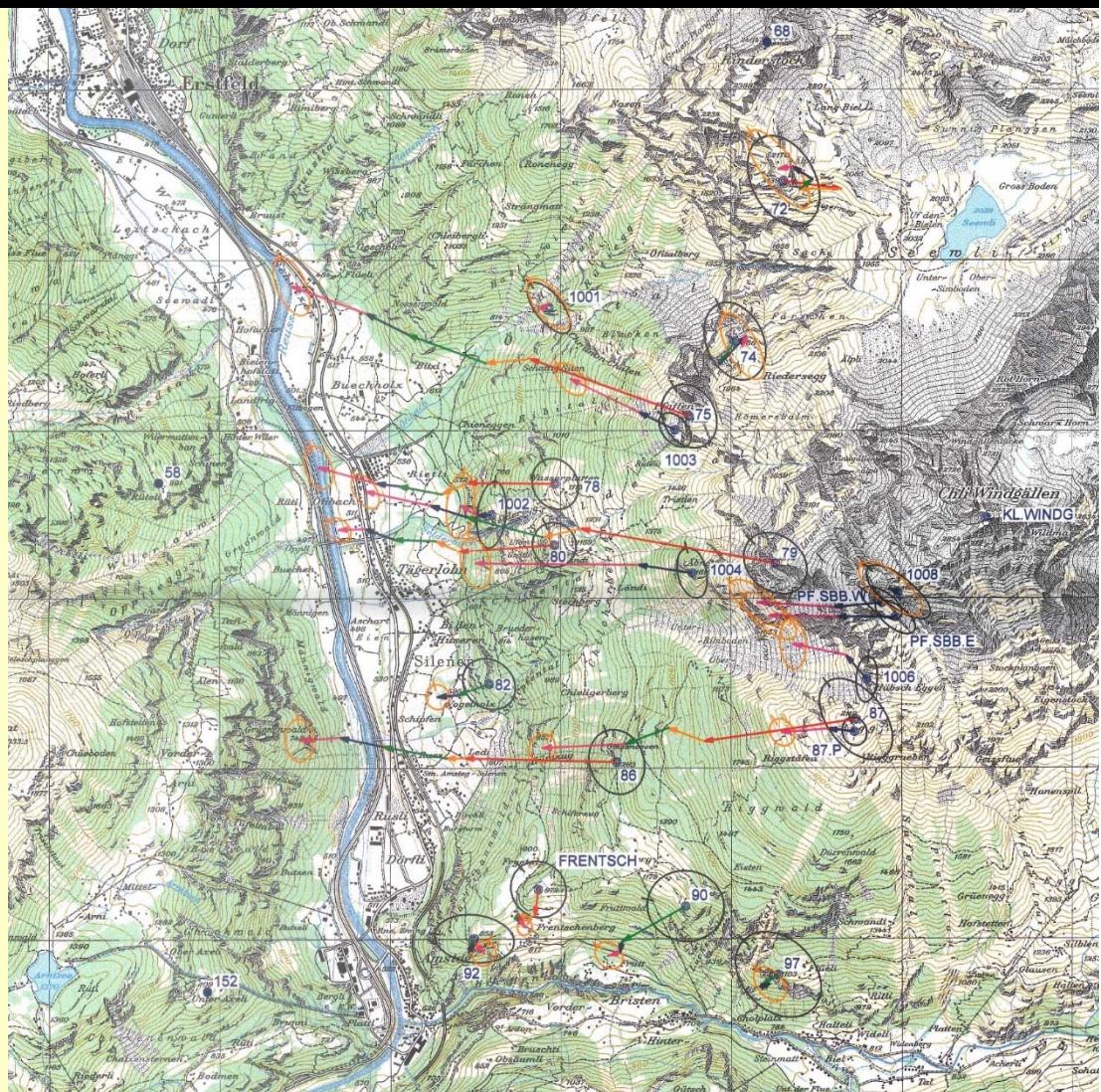
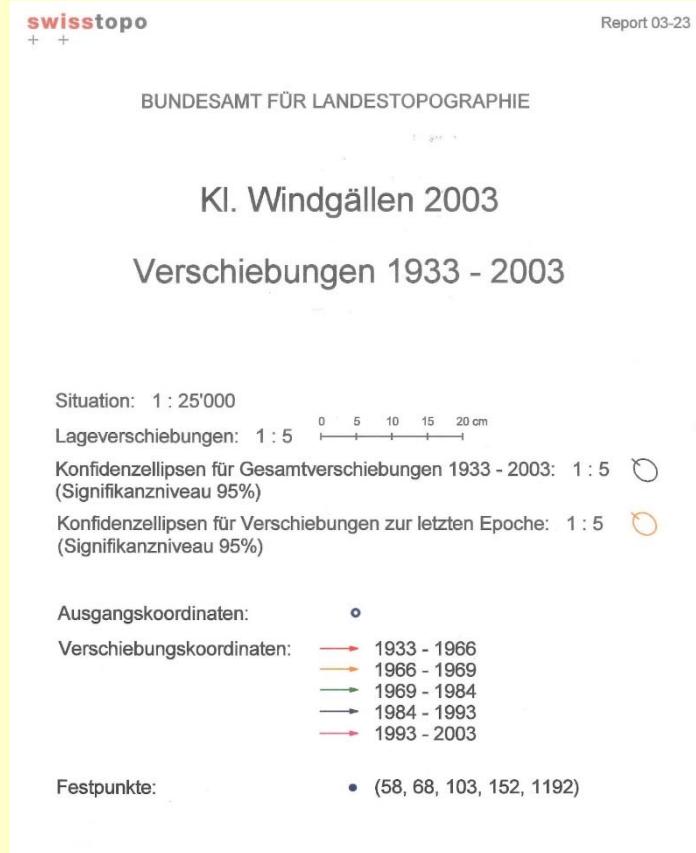
## Frühere Ereignisse



## Bisherige Messungen



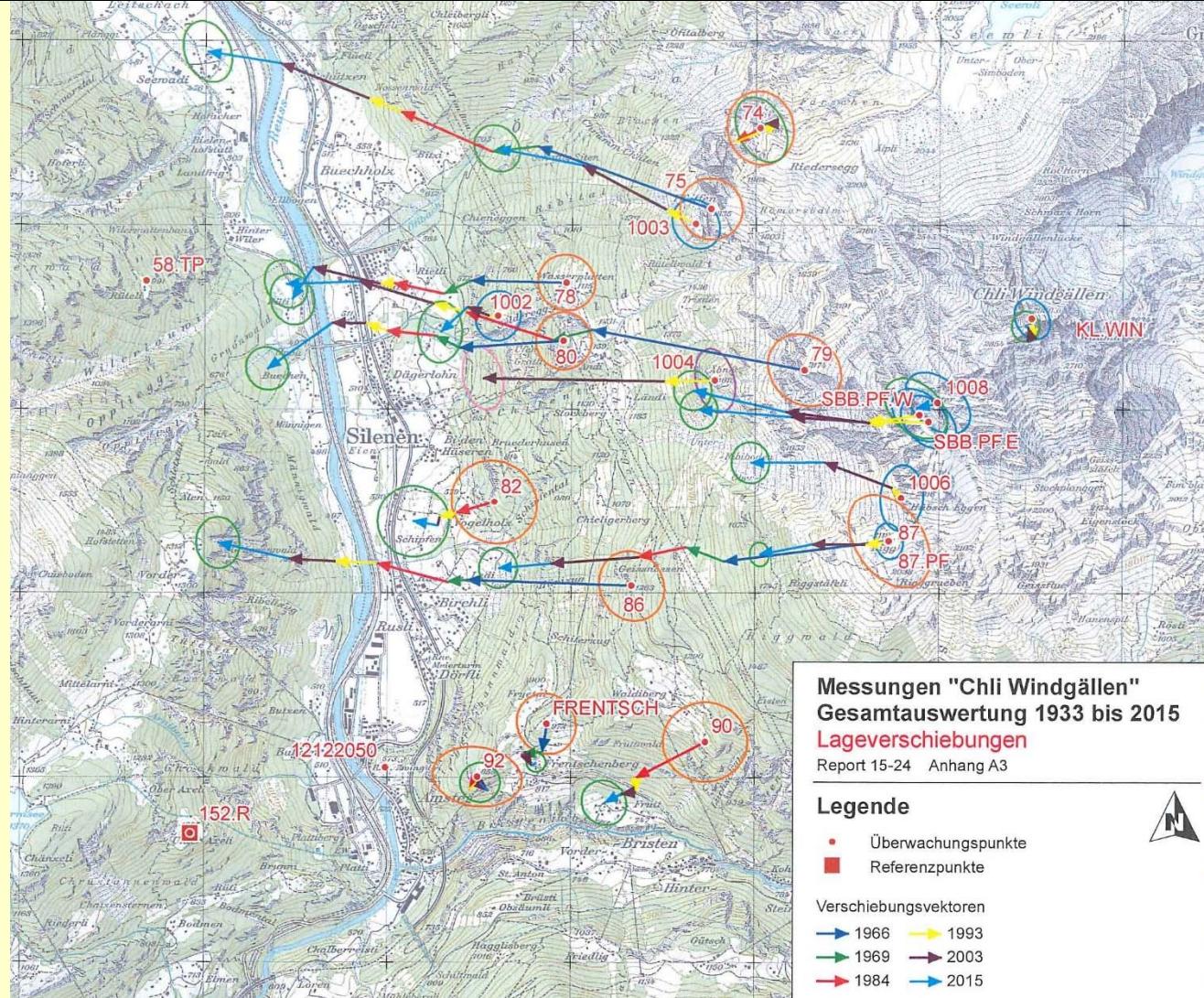
# Bisherige Messungen



## Aktuelle Messung (2015)



## Aktuelle Messung (2015)



## Aktuelle Messung (2015)

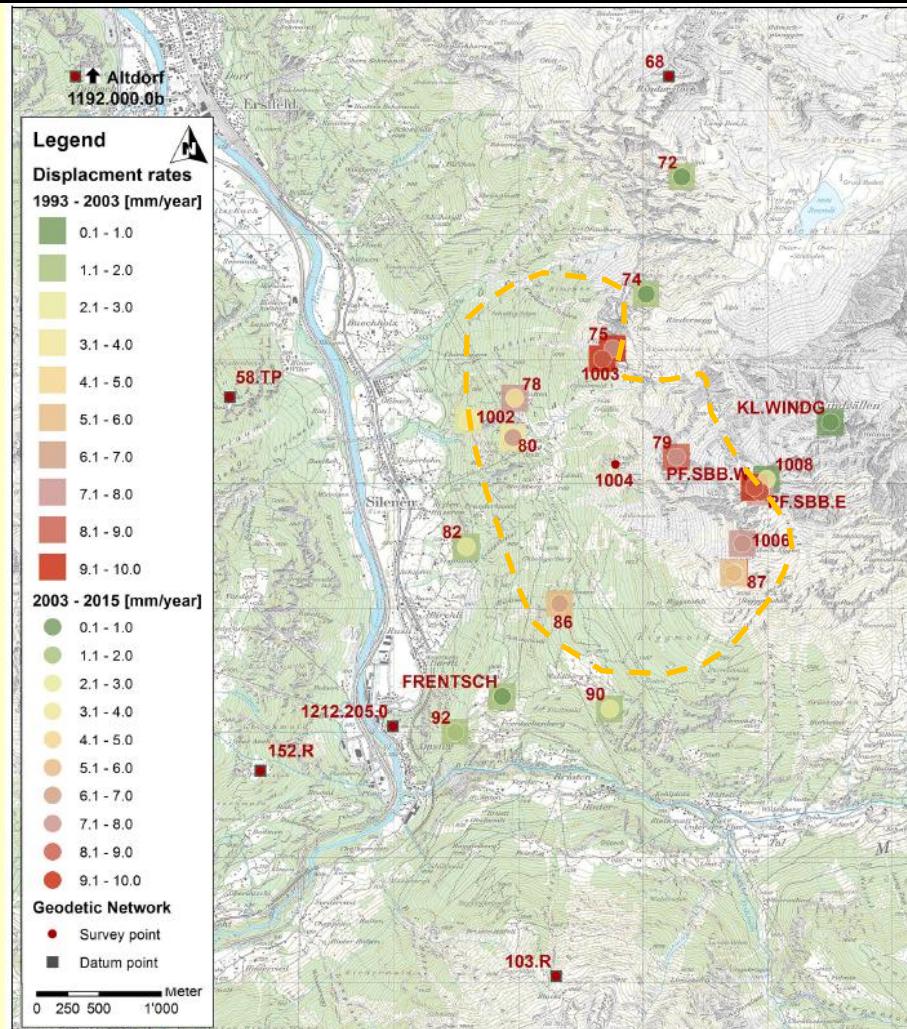
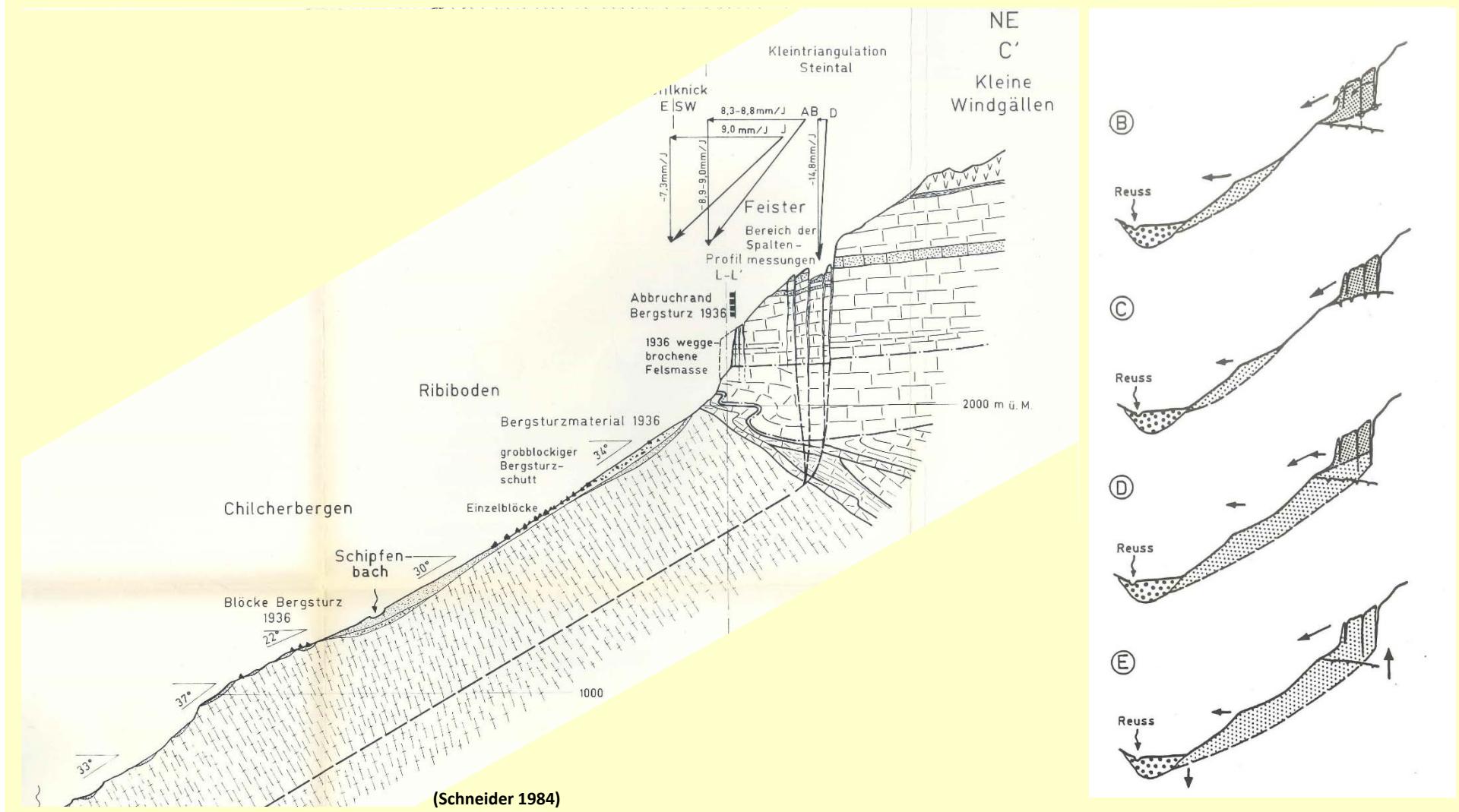
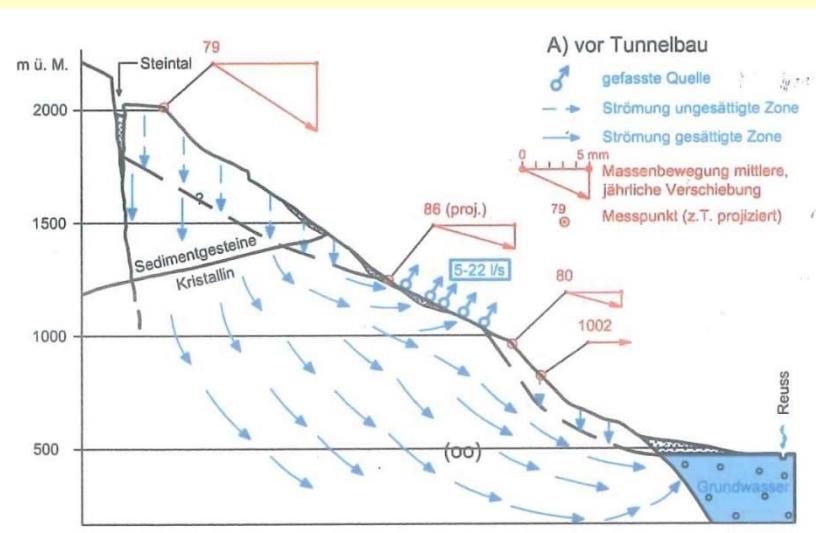


Fig 4: Annual displacement rates from the trigonometric and GNSS observations for the survey points for the epochs 1993 – 2003 (squares) and 2003 – 2015 (circles). Essentially there are no substantial differences between the epoch-rates.

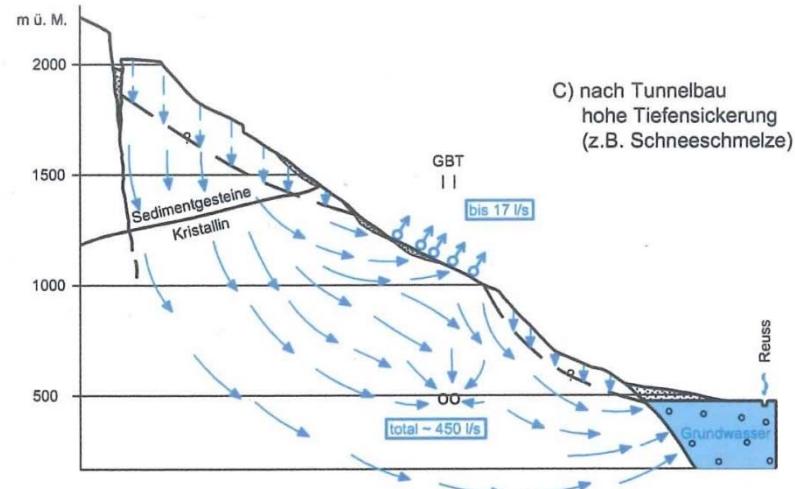
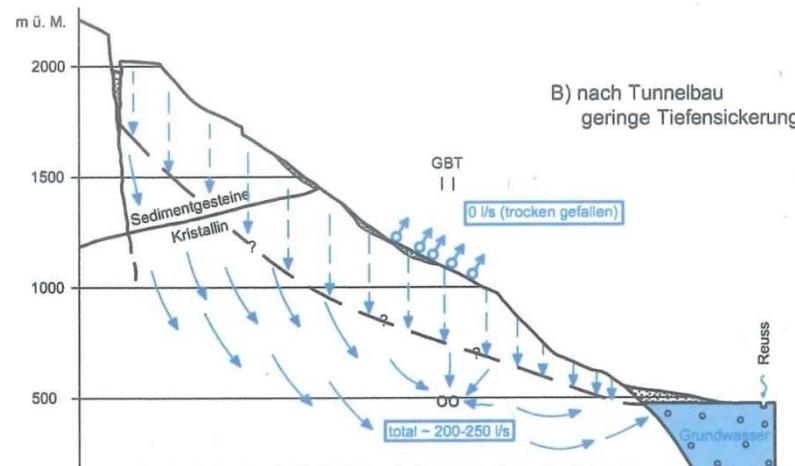
# Geologische Interpretation



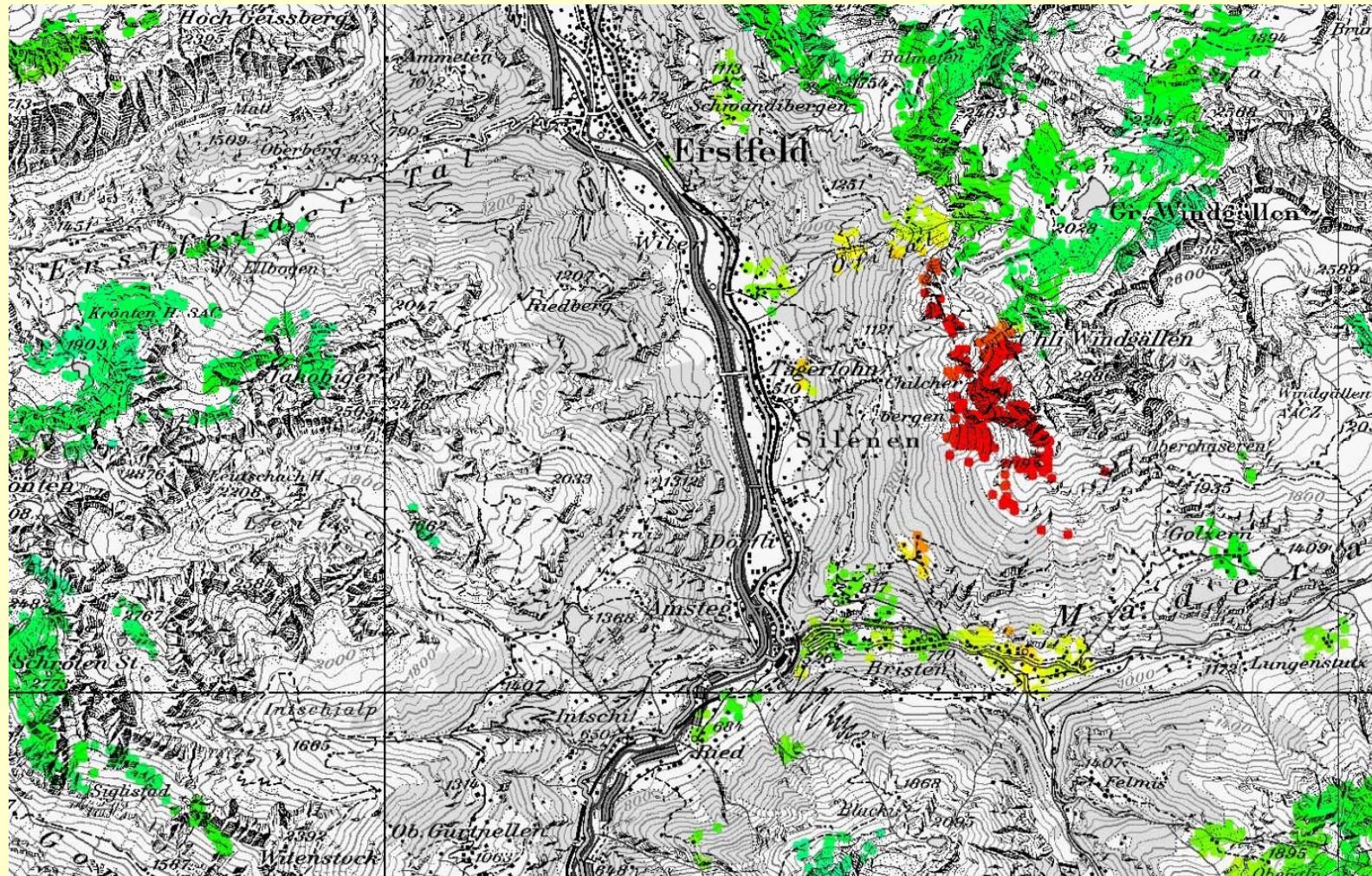
# Geologische Interpretation



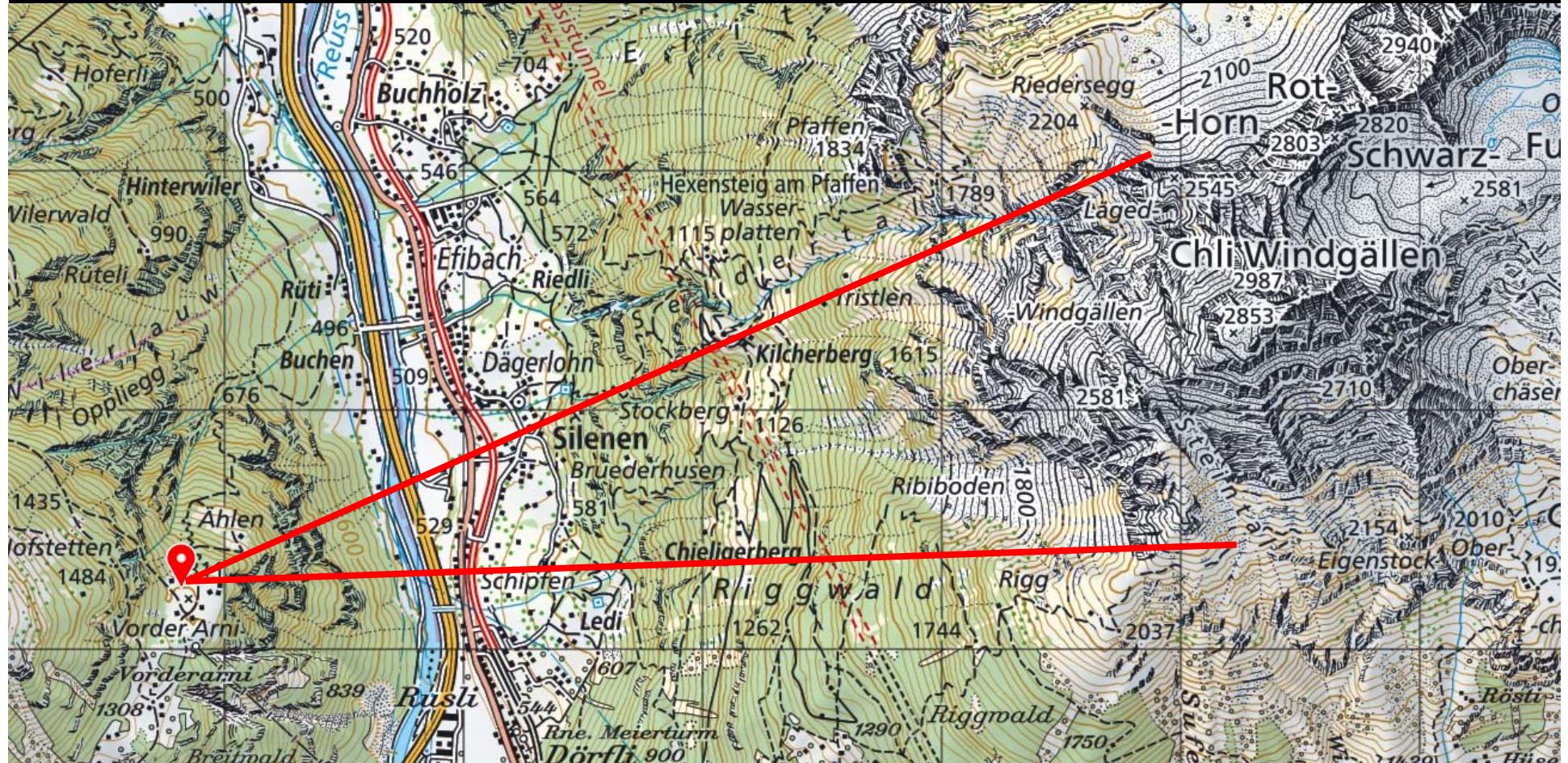
(AlpTransit Gotthard AG 2012)



## Alternative Messmethoden: Satellitenradar (Pilotversuch SBB 2013)



## Alternative Messmethoden: Terrestrisches Radar (aktueller Pilotversuch)



Distanz zum Zielgebiet: 3 – 5 km

In anderen Projekten (bislang ca. 40 Standorte): 0.5 – 2.5 km

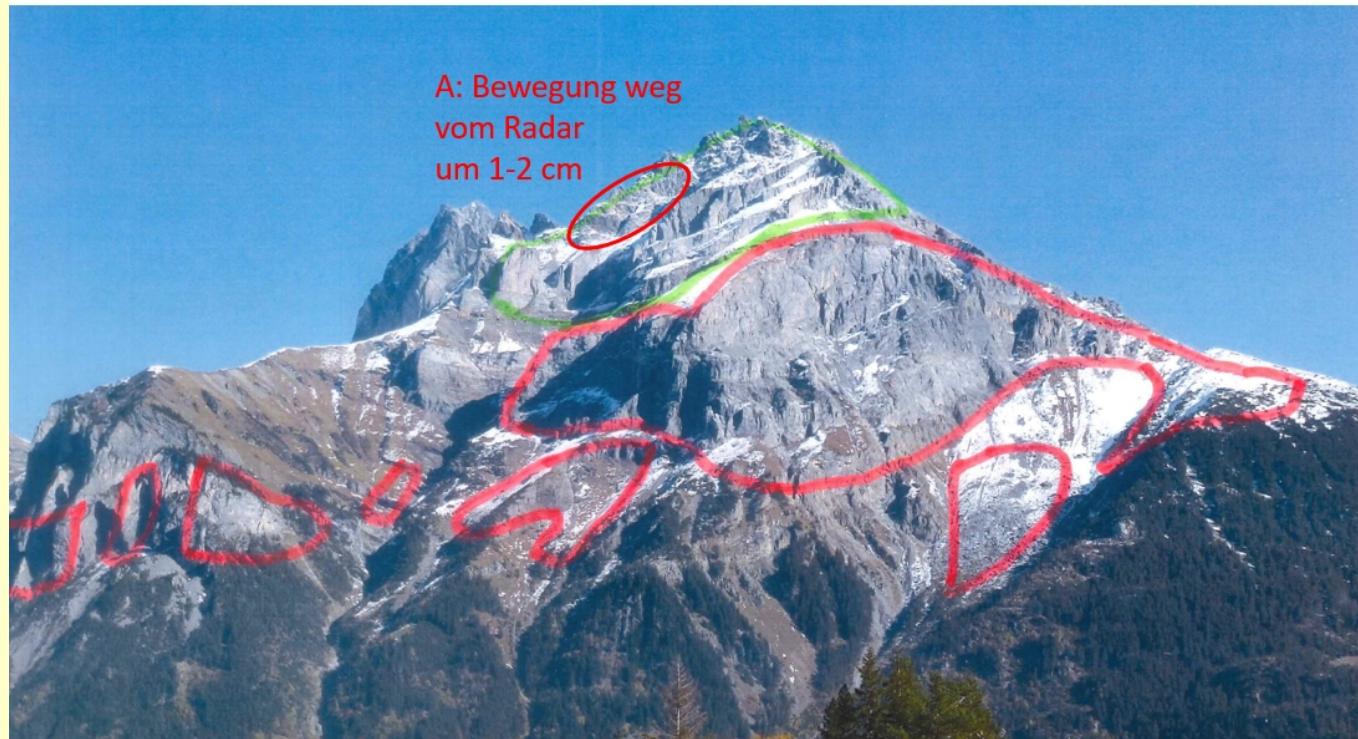
## Alternative Messmethoden: Terrestrisches Radar (aktueller Pilotversuch)



## Alternative Messmethoden: Terrestrisches Radar (aktueller Pilotversuch)

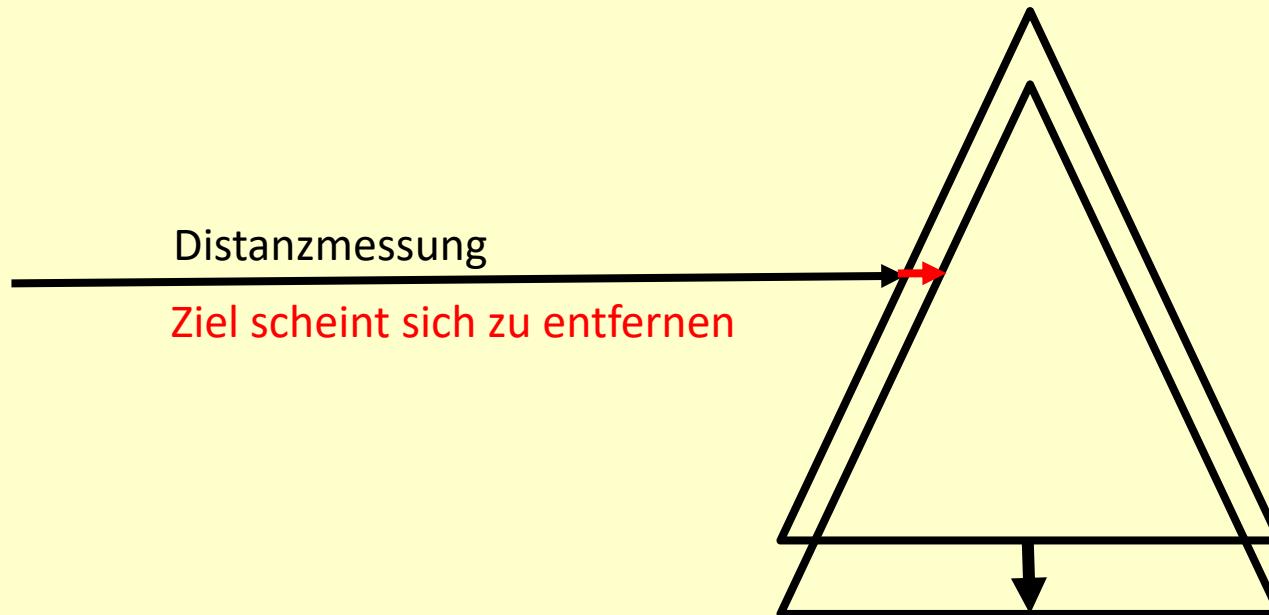
Stabile Gebiete?

GEO PRÆVENT



## Alternative Messmethoden: Terrestrisches Radar (aktueller Pilotversuch)

### Effekt Sackung auf Distanzmessung



Danke für Ihre Aufmerksamkeit





# Inhalt

## 1. Einführung

Matthias Kistler – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Grundlagen der Zeitreihenanalyse
- Anwendungsbeispiele aus der LV und IV
- Wichtige Zeitreihen in der geodätischen Landesvermessung

## Introduction

Bases pour l'analyse des séries de temps

Exemple d'applications pour la MN et MT

Séries de temps importantes pour la mensuration national géodésique

## 2. Überwachung des Felssturzgebietes an der Chli Windgälle 1933 – 2015

### Surveillance de la zone de glissement au Chli Windgälle 1933 – 2015

Lukas Eggimann – Abteilungsleiter Naturgefahren · Amt für Forst und Jagd Kanton Uri

- Geschichte und Geologie
- Überwachungskonzept
- Pilotprojekt terr. Radarinterferometrie

Histoire et géologie

Concept de surveillance

Projet pilote radar interférométrie terrestre

## 3. 100 Jahre Landesnivelllement im Simplontunnel

### 100 ans de nivelllement fédéral dans le tunnel du Simplon

Andreas Schlatter – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Landesnivelllement und rezente Bewegungen
- Messanlage und Deformationsanalyse

Nivellement fédéral et mouvements récents

Installation de mesure et analyse de déformation

## 4. 10 Grundlagen- und Überwachungsnetz Mont Terri

### 10 ans réseau de base et de surveillance au Mont Terri

Peter Mahler - Wissenschaftlicher Mitarbeiter · Institut Geomatik FHNW

- Netzanlage und -Erweiterungen
- Präzisions-Tunnelvermessung
- Deformationsanalyse

Mise en place du réseau et extensions

Mesures de précisions dans les tunnels

Analyse des déformations

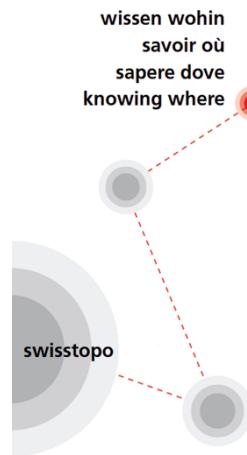
Hinweis: Zeitreihen von GNSS-Permanentstationen / CHTRF werden in der Kolloquiumsreihe 2018/19 vorgestellt



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo  
Geodätische Landesvermessung

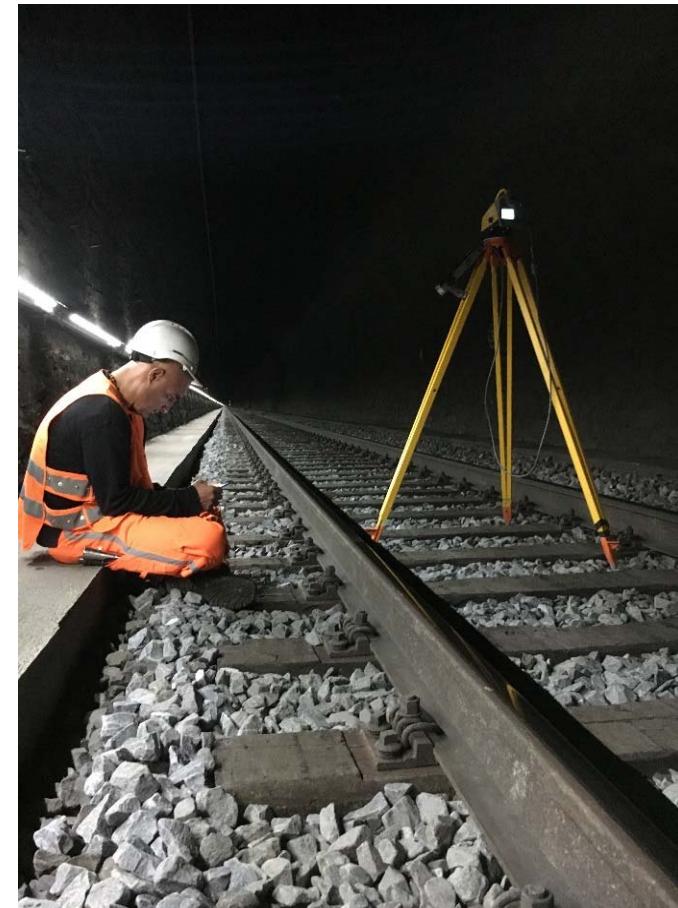
# 111 Jahre Landesnivelllement im Simplontunnel



## 111 ans Nivellement Fédéral au tunnel du Simplon

Die Bedeutung von Zeitreihen in der  
geodätischen Landes- und  
Ingenieurvermessung / 9. März 2018

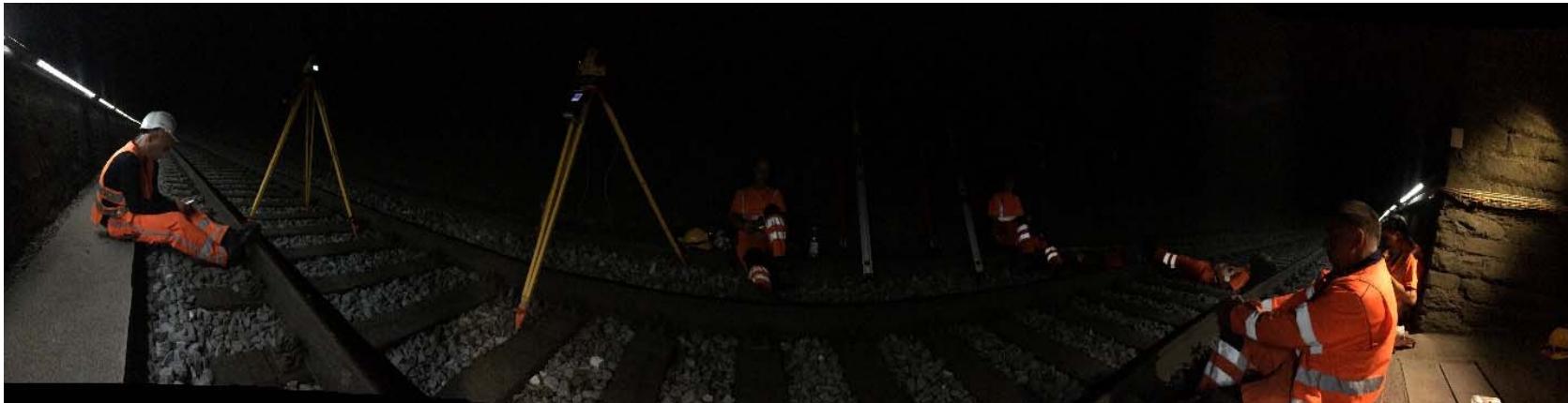
Andreas Schlatter





# Einleitung

# Introduction



**«Was lange währt, wird endlich gut»**

**(Motto von H. Zöllig zum Lötschbergnivellement 10.5.1912)**

**Wer im Simplontunnel gemessen hatte, besass steigende  
Chancen auf eine «honoris causa» (Dr. h.c.)**

**Wenn Grillen zirpen, ist es nicht immer Sommer...  
aber mindestens 16-19°C**



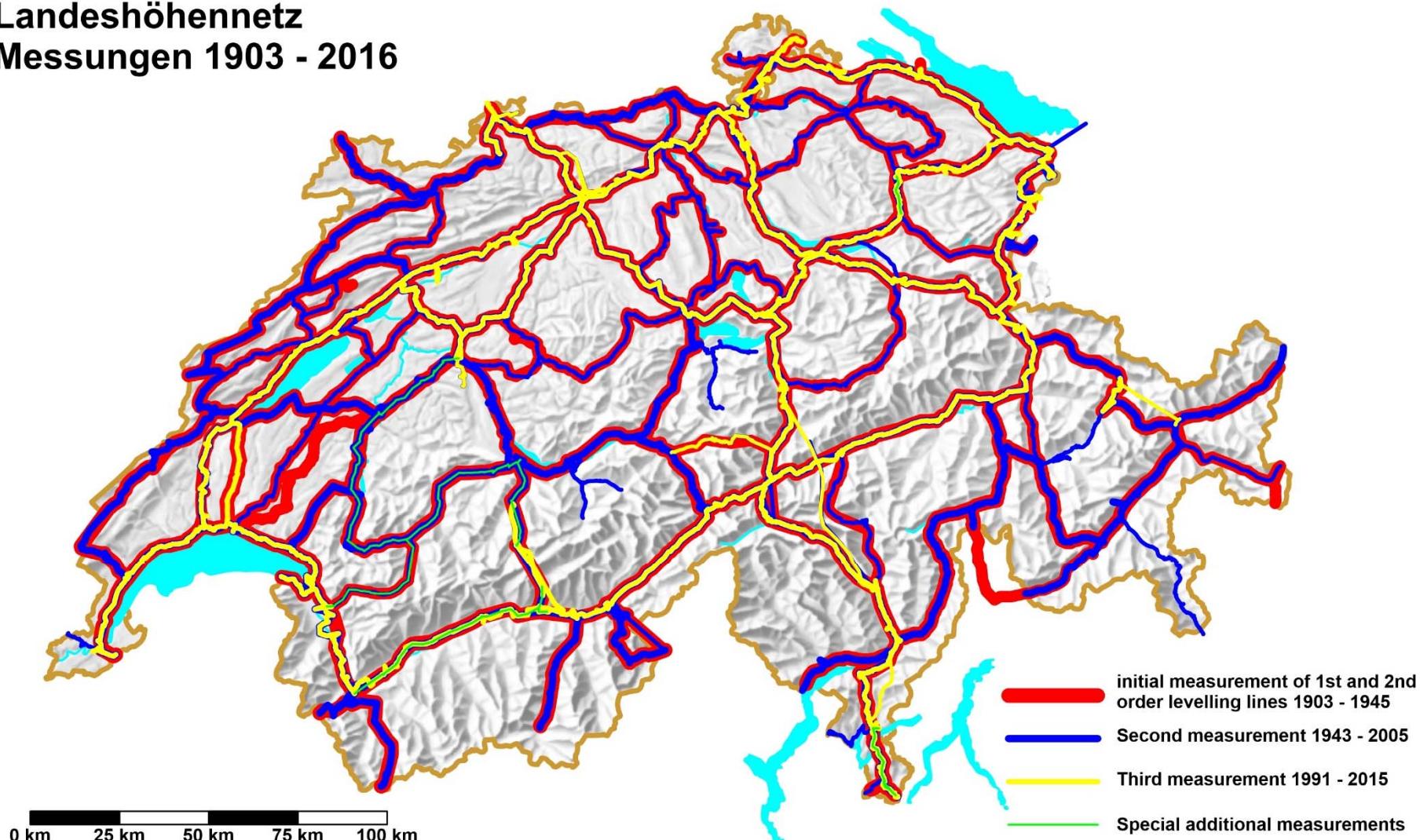
# Inhalt sommaire

- **Landesnivelllement (LN):  
Zeitreihen und Tunnels**
- **Simplontunnel**
  - **Allgemeines**
  - **Messanlage im Tunnel**
- **«Auftrag» Nivellement 2016**
- **Messeepochen 1906/79/2016**
- **Deformationsanalyse**
- **Zusammenfassung /  
Erkenntnisse**
- **Nivellement Fédéral (NF):  
série chronologique et tunnels**
- **Tunnel du Simplon**
  - **en général**
  - **disposition des points**
- **«Mandat» Nivellement 2016**
- **Époques 1906/79/2016**
- **analyse des déformations**
- **Résumé /  
conclusions**



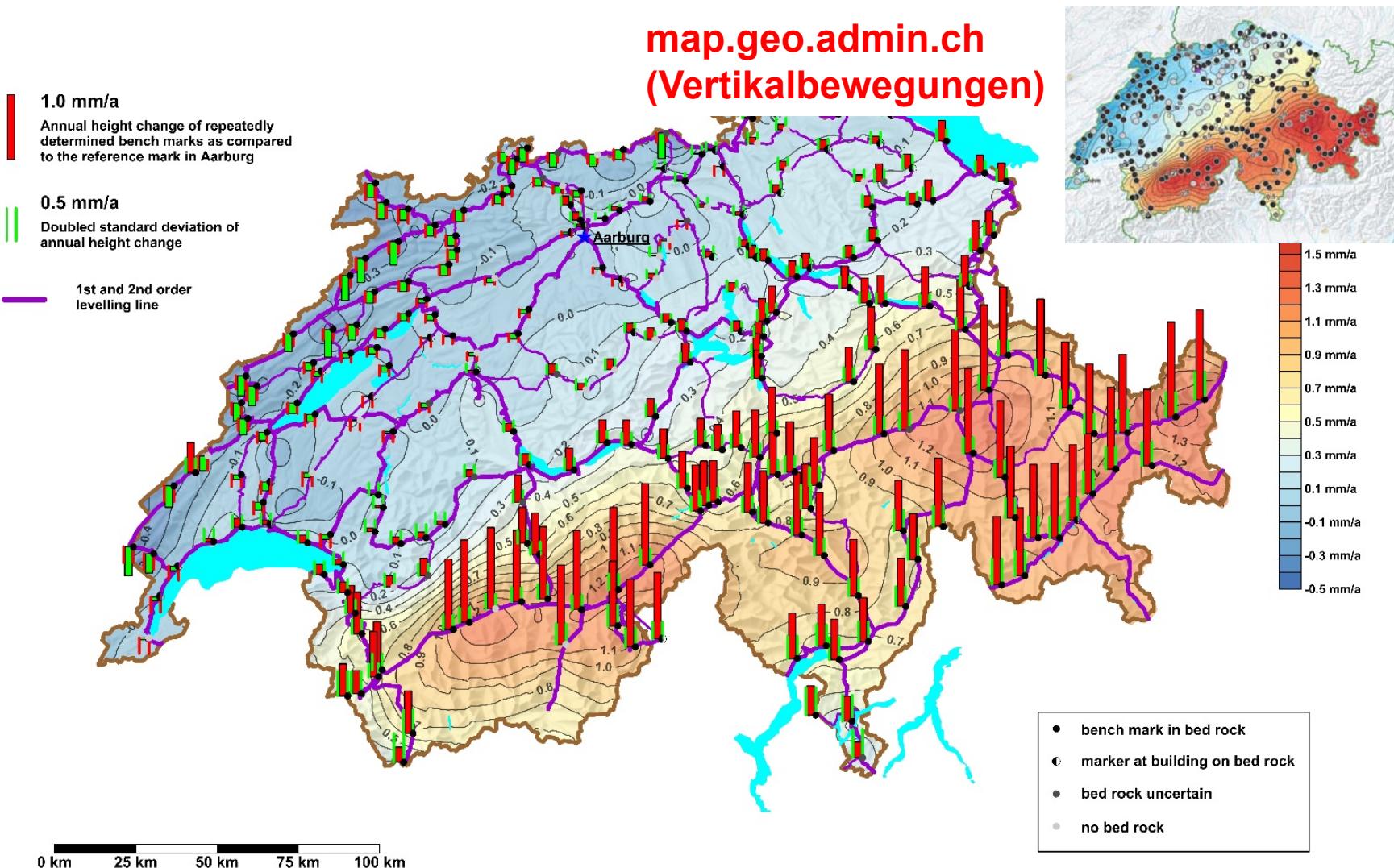
# LN: Zeitreihen    NF: série chronologique

Landeshöhenetz  
Messungen 1903 - 2016



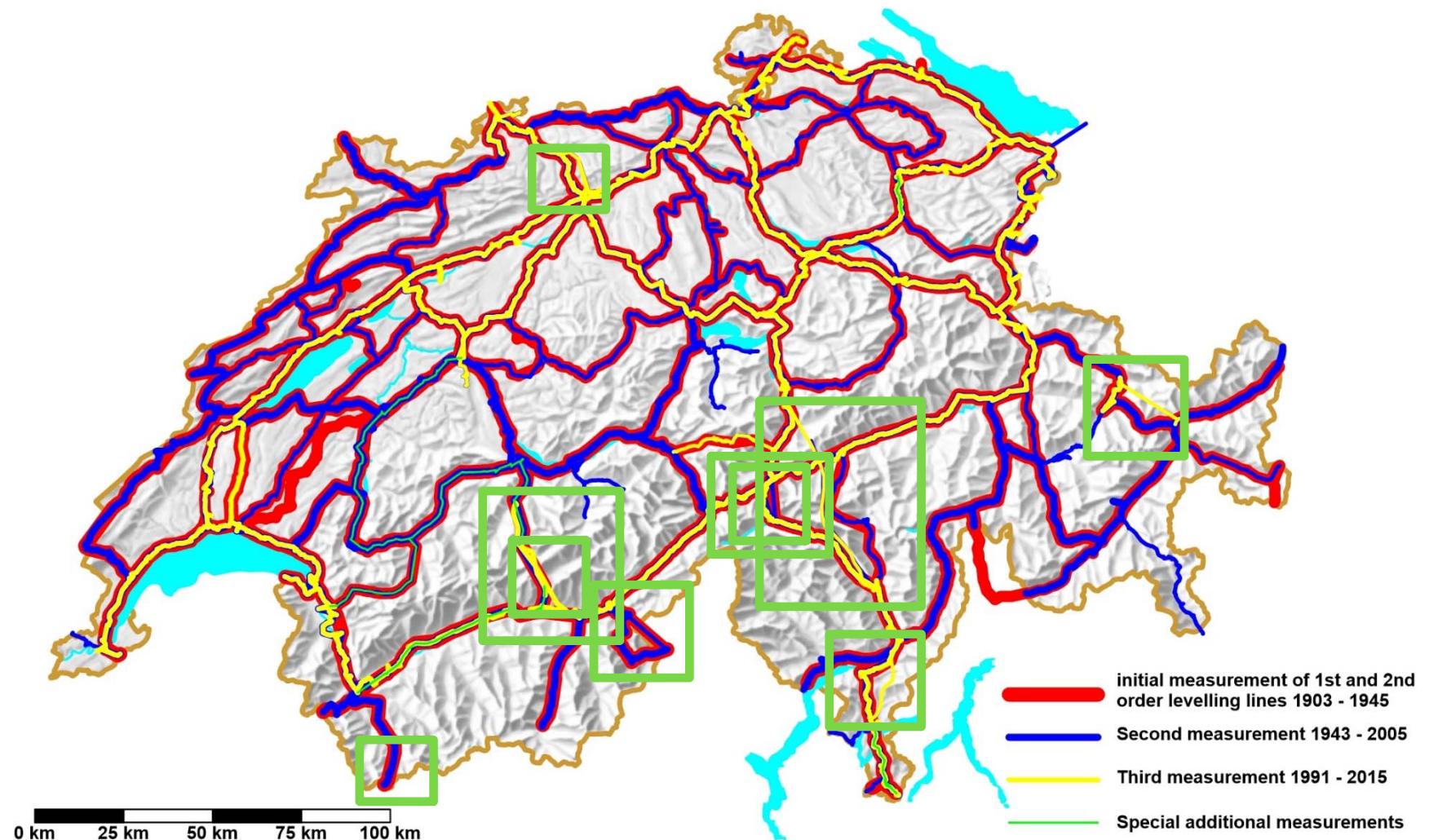


# LN: Zeitreihen    NF: série chronologique





# LN: Tunnelmessungen NF: mesures de tunnel





# LN: Tunnelmessungen    NF: mesures de tunnel

Tunnel	Funktion	Länge [km]	1. Epoche	2. Epoche	3. Epoche
<b>Simplon</b>	<b>Bahn</b>	<b>19.8</b>	<b>1906</b>	<b>1979</b>	<b>2016</b>
Lötschberg	Bahn	14.6	1913	1983	1999
Gotthard	Bahn	15.0	1917	1977	
Hauenstein BT	Bahn	9.0	1970	alle 2 a	2009/14
Gotthard	Strasse	17.0	(1980)	1997	
Gd. St-Bernard	Strasse	5.5	1978		
Vereina	Bahn	19.0	1999		
Lötschberg BT	Bahn	37.0	2006		
Gotthard BT	Bahn	57.0	2013/14		
Ceneri BT	Bahn	16.0	2017		
<b>Total</b>		<b>210 km</b>			

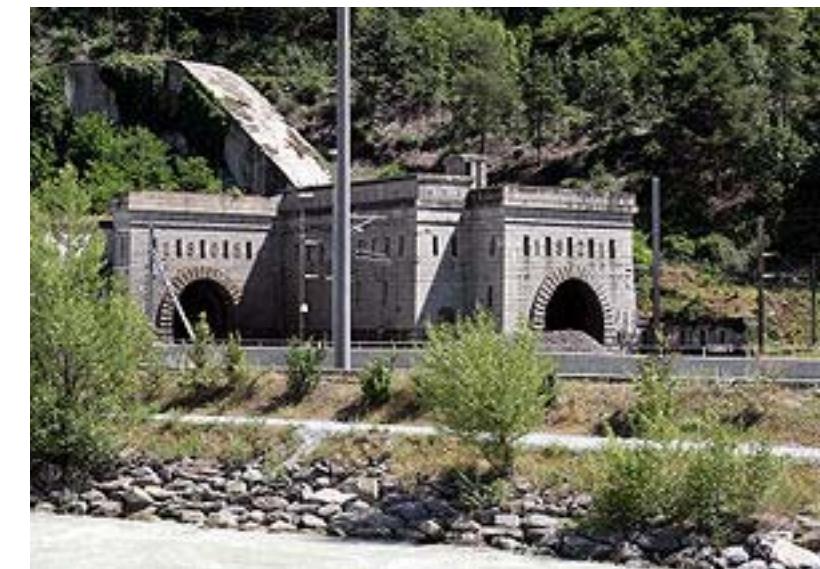


# Simplontunnel



## Tunnel du Simplon

- Zweiröhriger Eisenbahntunnel
- **1906** Eröffnung Tunnel I
- **19.8 km** (bis Ende 1970er-Jahre längster Gebirgstunnel der Welt)
- Bis zu **2'200 m Überdeckung**
- Durchschlag: Querabweichung 20.2 cm, **Höhe 8.7 cm**





# Geodäsie-Labor Simplonpass /-tunnel (1905/06)

## Laboratoire géodésique au col et tunnel du Simplon

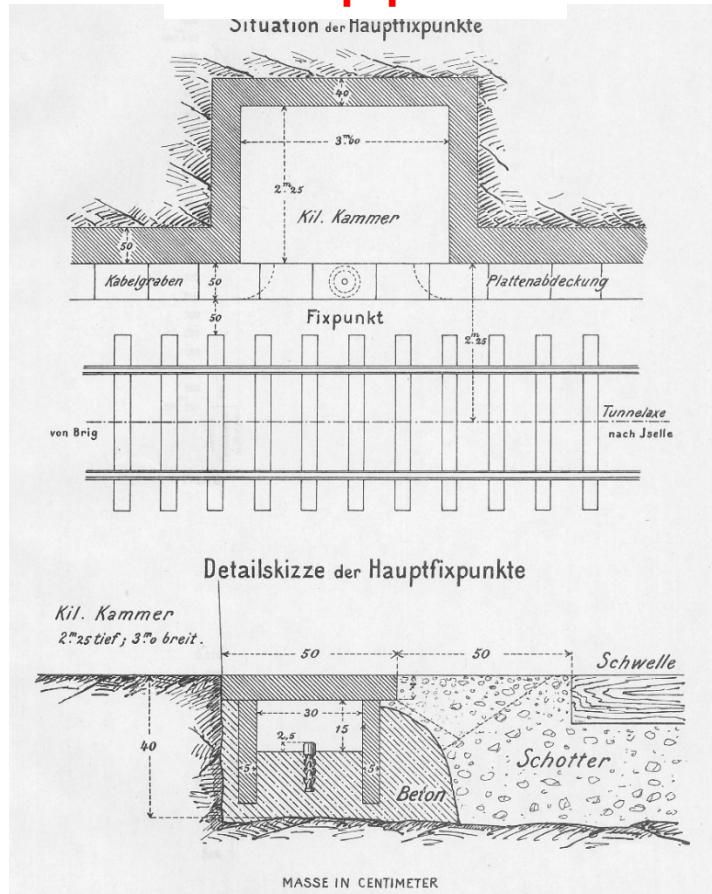
- **Nivellement de Précision SGK (1870/73) Simplon - Domodossola - Centovalli**
- Kontrollnivelllement 1900
- **Grundlage / Vortrieb Tunnel (1898 – 1904)**
- Landesnivelllement Pass 1905
- **Tunnelnivelllement 1906**
- Basismessung im Tunnel 1906 (SGK/L+T)
- Schweremessungen (SGK) theoretische Schlussfehler mittlere Schwere in der Lotlinie etc.
- **Nivellement de Précision CGS (1870/73) Simplon - Domodossola – Centovalli**
- Nivelllement de contrôle 1900
- **réseau de base / avancement du tunnel (1898 – 1904)**
- Nivelllement Fédéral Col 1905
- **Nivellement du tunnel 1906**
- mesure de base au tunnel 1906 (CGS/L+T)
- Gravimétrie (CGS) erreur de clôture théorique pesanteur moyenne etc.



# Tunnelnivelllement nivelllement du Tunnel 1906

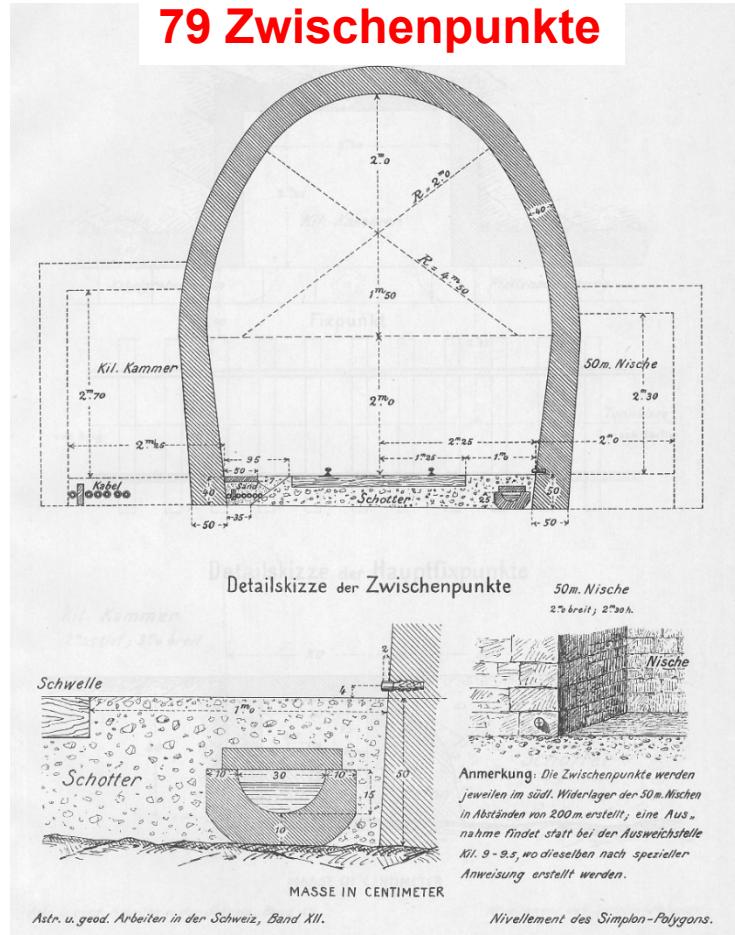
«zu theoretischen Zwecken...»  
[Hilfiker 1910]

**20 Hauptpunkte**



«pour des buts théoriques...»

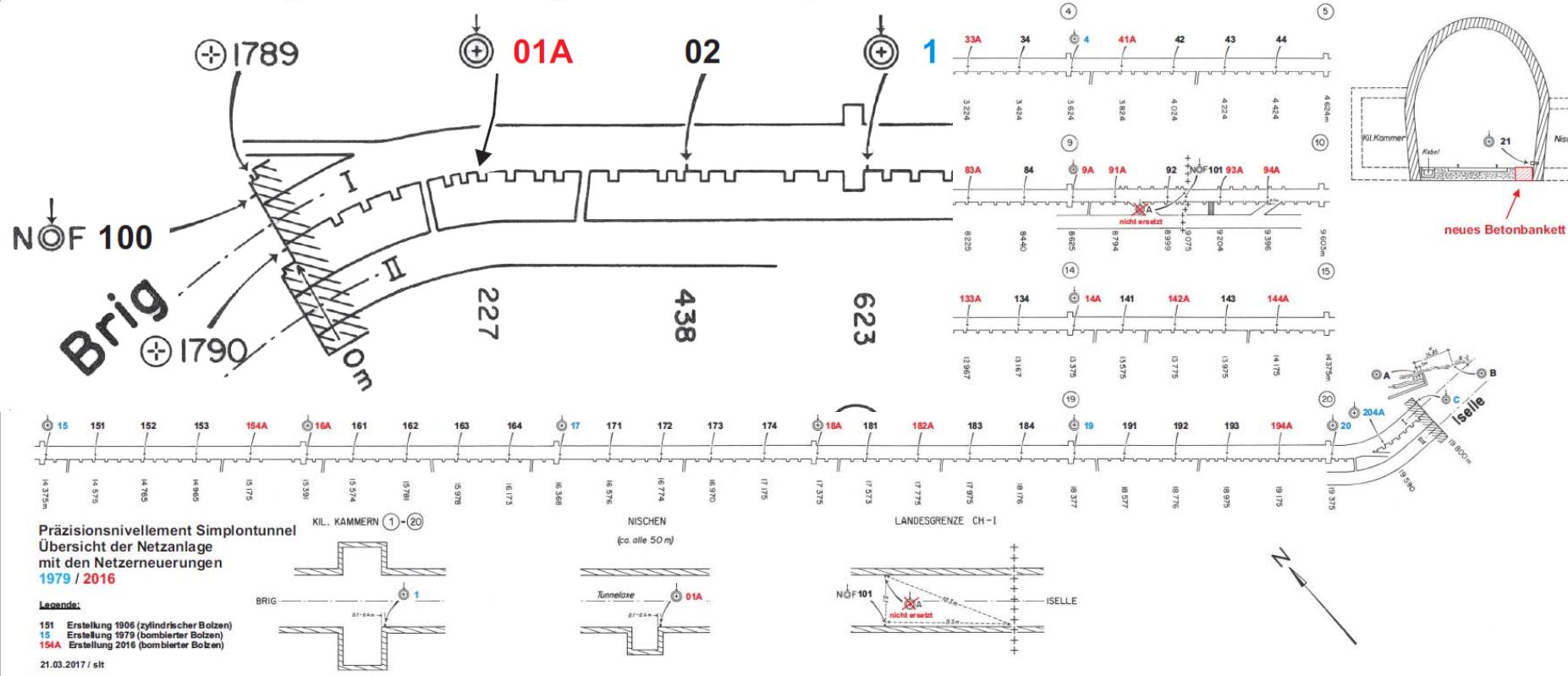
**79 Zwischenpunkte**





# Messanlage

- Zustand 1979: 99 Zwischenpunkte (davon 5 Neupunkte)
- **2016: 29 Punkte (1/3) zerstört**



## disposition des points

- état en 1979: 99 points intermédiaires (5 nouveaux points)
- **2016: 29 points (1/3) détruits**



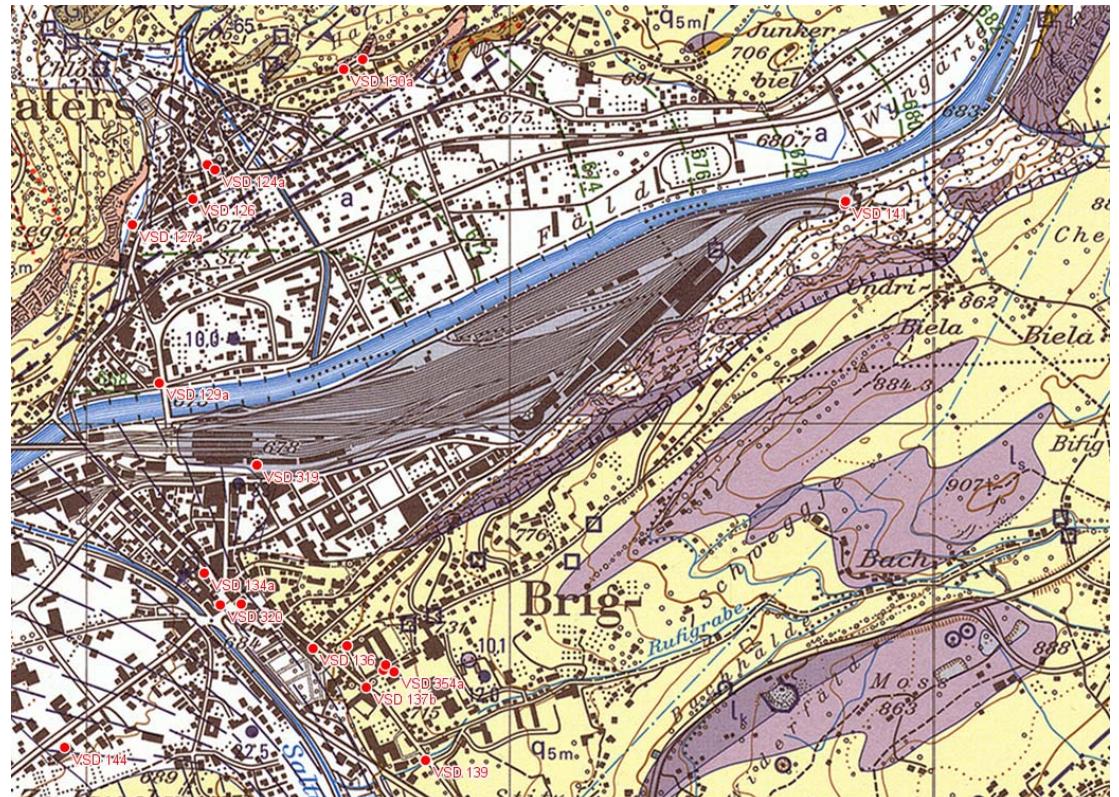
# Messanlage

Brig / Iselle: Anschlüsse an das Landesnivelllement und Geologie



# disposition

Brig / Iselle: rattachement au réseau du NF et géologie





# «Auftrag» 2016

Zwei Gründe:

- Sanierung Simplon-Tunnel
- Bauleitung mit Durchsetzungsvermögen...



**Brig-Glis: 180 Millionen 'verloch't'**

Sanierung Simplontunnel. Quelle: rro

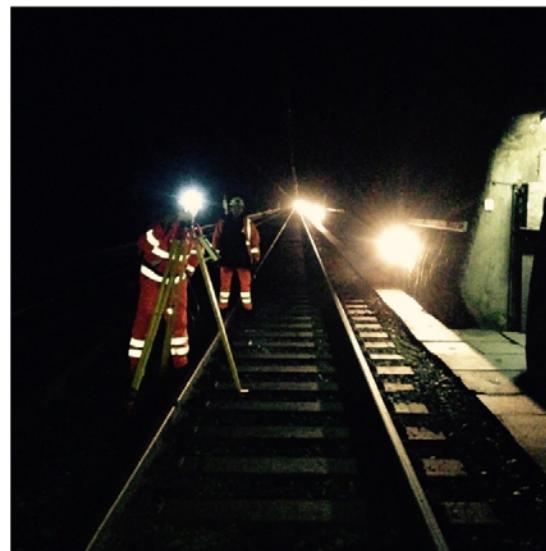
In den letzten vier Jahren sanierte die SBB den Simplontunnel. Kostenpunkt: rund 180 Millionen. rro besichtigte am Donnerstag die nun abgeschlossenen Arbeiten.

# «Mandat» 2016

deux raisons :

- Remise en état du tunnel
- Imposé par la direction de travaux

Hauenstein-Basistunnel



Präzisionsnivelllement 2014 (Messung G) und Deformationsanalyse 1986 - 2014

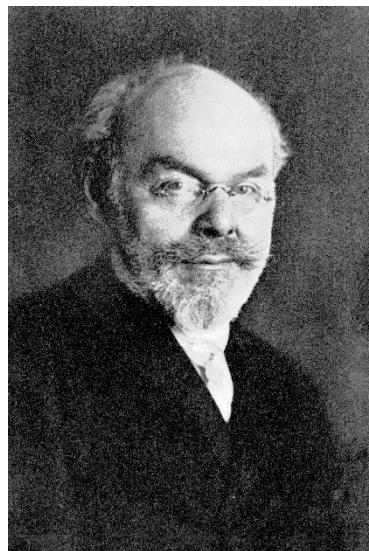


# «Ahnengalerie» 1906

## «galerie des ancêtres» 1906



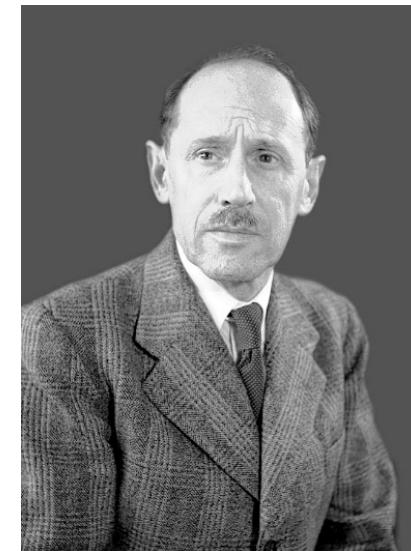
**M. Rosenmund**  
**(1857 – 1908)**  
**Simplontunnel**  
**Projektionssystem**  
**Professur Geodäsie**  
**ETHZ**



**J. Hilfiker**  
**(1851 – 1913)**  
**RPN 373.6**



**R. Gassmann**  
**(1879 – 1937)**

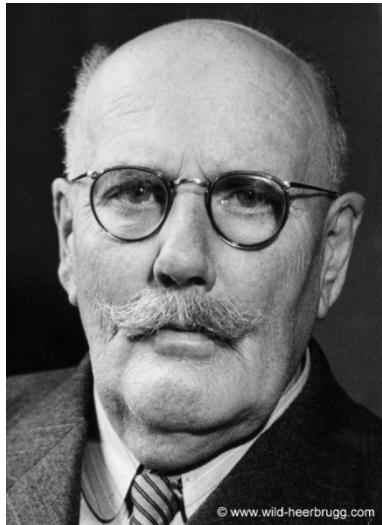


**H. Zölly**  
**(1880 – 1950)**

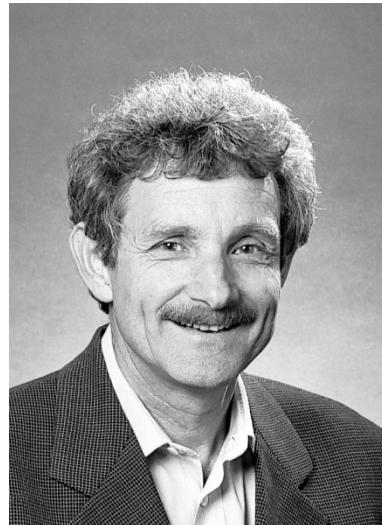


# «Beteiligte» 1906 / 1979

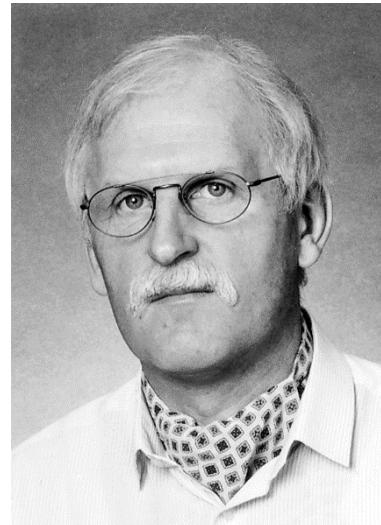
## «Participants» 1906 / 1979 / 2016



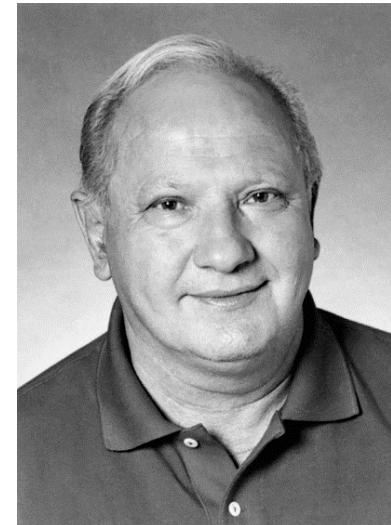
**Heinrich Wild  
(1877 – 1951)**



**Erich Gubler**



**W. Santschi**



**C. Valiquer**

**2016: Bruno Mattli, Andreas Schlatter, Stefan Schönenberger (Pra)  
Beat Klossner, Thomas Seiler (+3 externe Lattiers)**



# Vergleich der Epochen

## comparaison des époques

	1906	1979	2016
<b>Aufwand (Nächte)</b>	<b>5 + 1</b>	<b>7 (+ 4)</b>	<b>6</b>
<b>Personal</b>	<b>4 Gruppen à 6 Pers. + Auswertebüro Brig</b>	<b>2 Gruppen à 4 Pers.</b>	<b>2 Gruppen à 3 Pers.</b>
<b>Instrumentarium</b>	Libellennivellier, teilw. Holzlatten	Autom. Nivelliere Wild NA2	Digitalnivelliere Zeiss DiNi03
<b>Genauigkeit</b>	<b>«<math>\pm 0.83 \text{ mm/km}</math>» <math>\pm 0.47 \text{ mm/km}</math> Pass</b>	$\pm 0.54 \text{ mm/km}$ <b><math>\pm 0.42 \text{ mm/km}</math></b>	<b><math>\pm 0.23 \text{ mm/km}</math></b>
<b>Schleifenschluss 70 km/2'800 m</b>	1905/1906 20.6 mm	1977/1979 0.8 mm	(aktuelle Messung Simplonpass fehlt)
<b>Latten- Umstellung</b>	Aufsatzauf Schiene geschraubt	«Magnetschuhe» auf Schiene	Bodenplatten auf Bankett
<b>Latten- Beleuchtung</b>	Acetylenlampen (Karbid)	Zielscheinwerfer auf Instrument	Dioden-Reihen auf Miren aufgeklebt

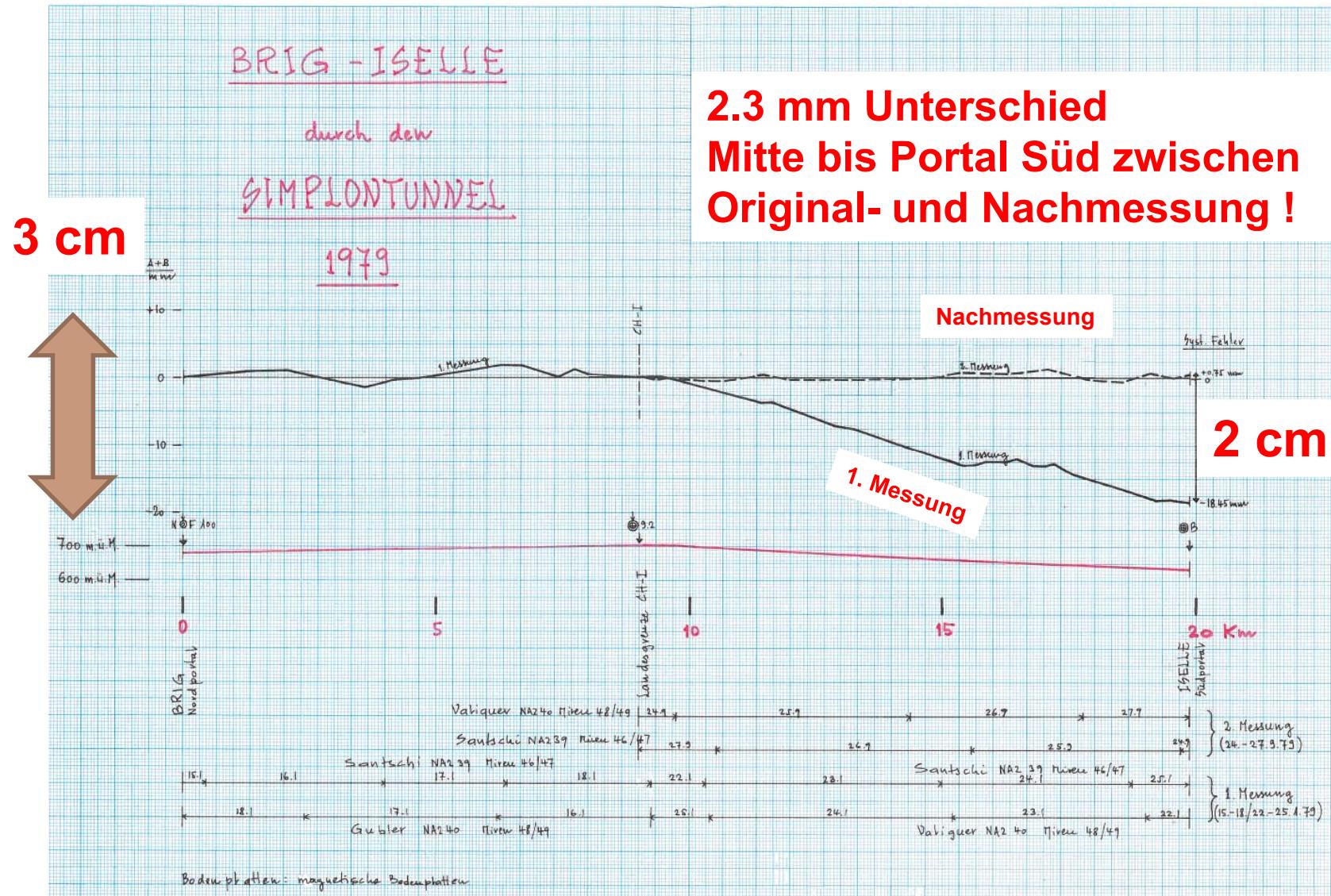


# «Probleme»

aufsummierte  $\Delta H$  hin/rück

# «problèmes» 1979

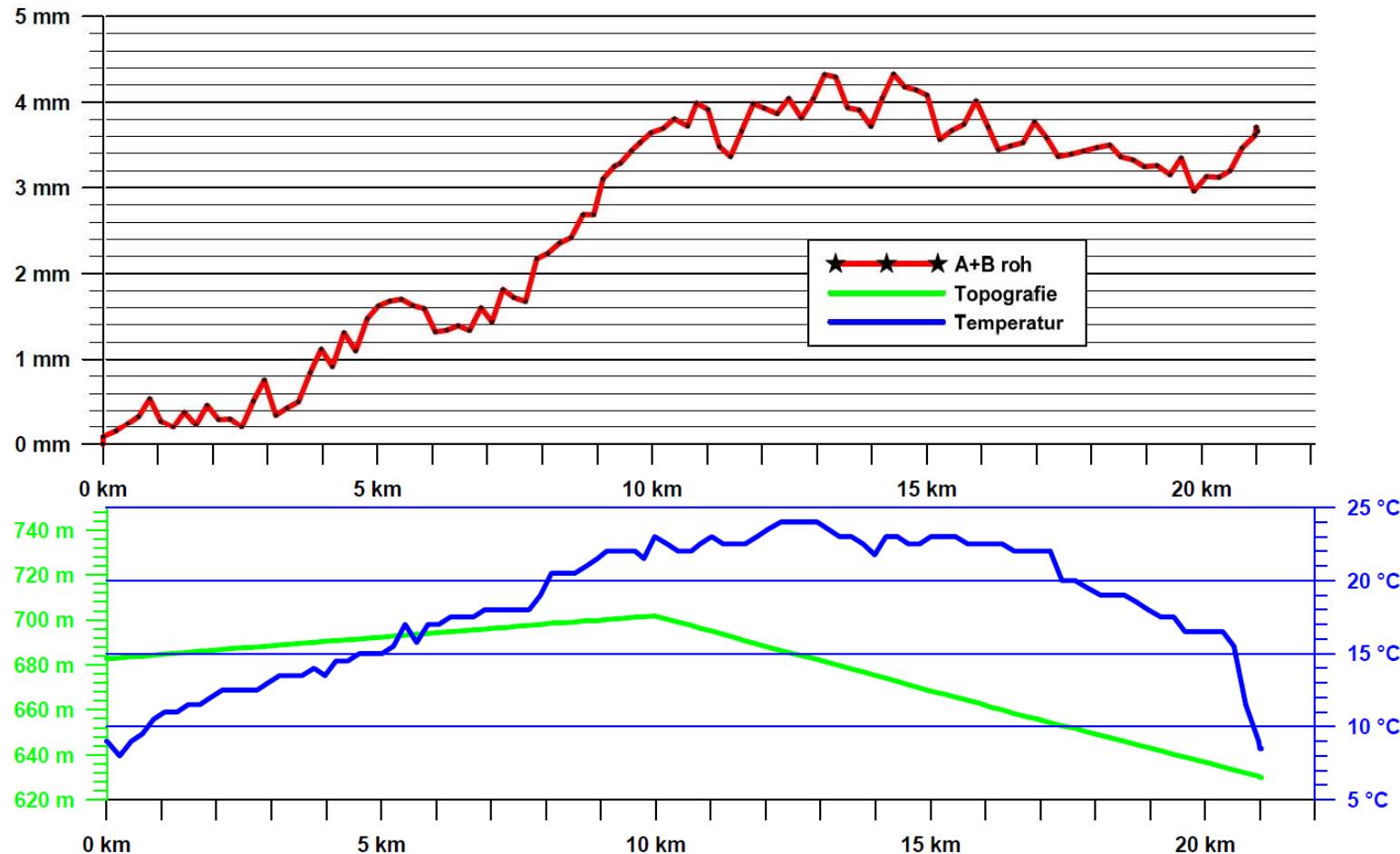
somme  $\Delta H$  allez/retour





# Resultate

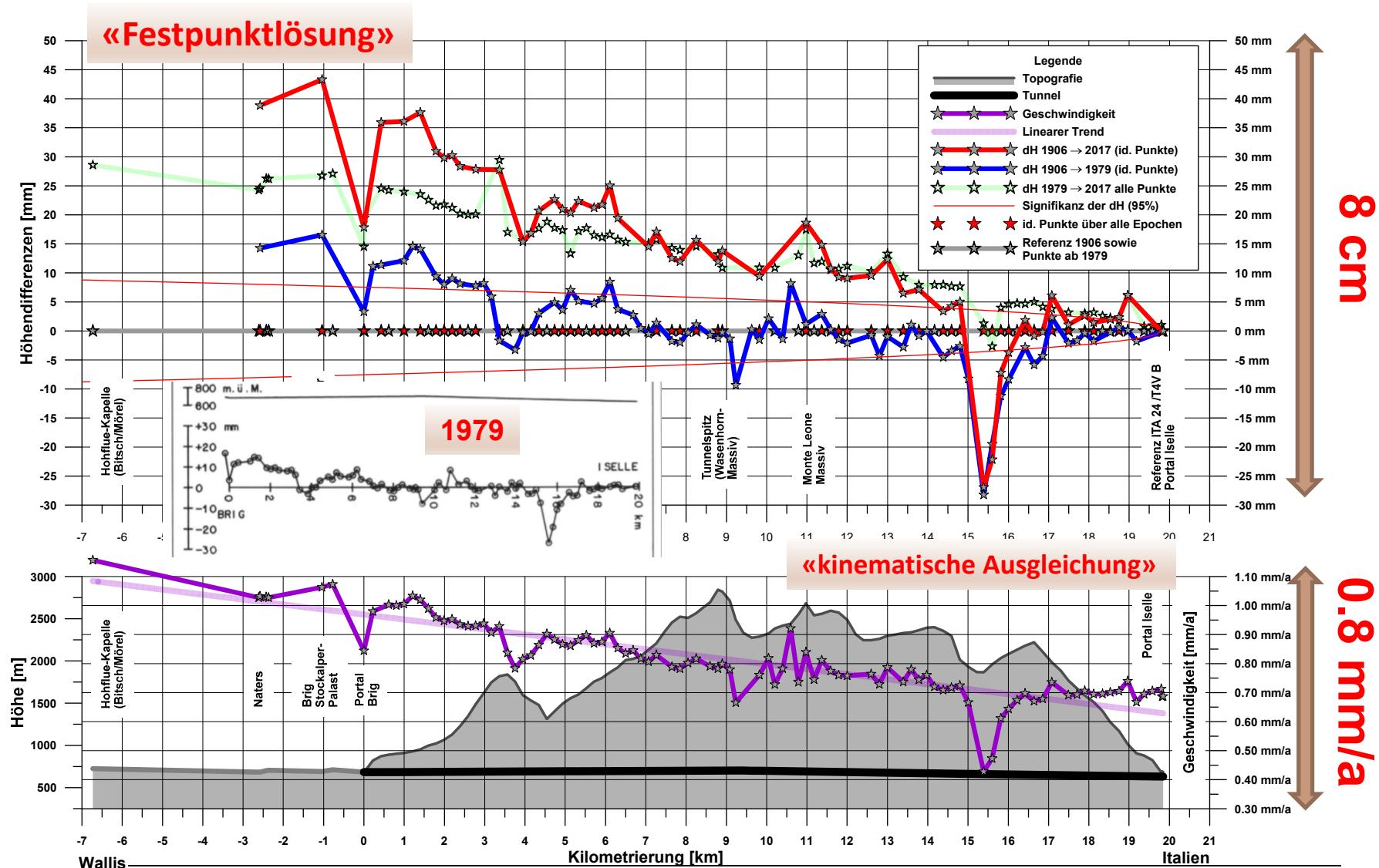
# résultats 2016





# Deformationsanalyse

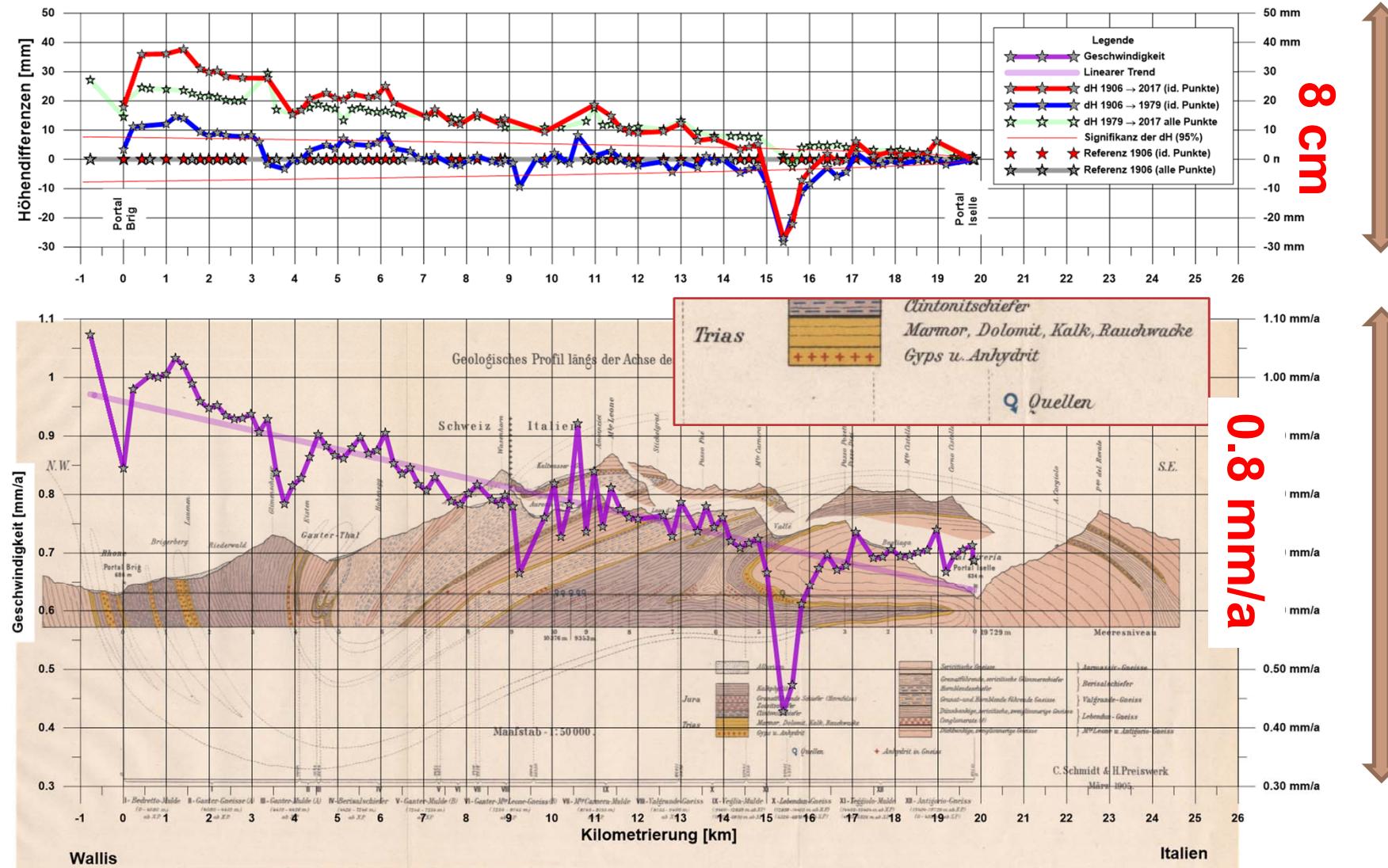
# analyse des déformations





# Deformationsanalyse

# analyse des déformations





# Zusammenfassung Erkenntnisse

- **Hebungs-Zunahme von S nach N**  
→ **relative Alpenhebung = 0.4 mm/a**
- **Deutliche lokale Störzonen**  
**Korrelation mit «Quellen/Anhydrit»**
- **Messreihen zu unterschiedlichen**  
**Zeiten (Epochen) = Resultate, falls:**
- **stabile, dauerhaft versicherte**  
**Punkte vorhanden bleiben**
- **...und dass den Punkten Sorge**  
**getragen wird!!**
- **Man profitiert heute von Arbeiten,**  
**welche vor 39/111 Jahren geleistet**  
**und gut dokumentiert wurden**
- **Herzlichen Dank allen Beteiligten!**

# résumé conclusions

- **Soulèvement des Alpes relatif du S**  
**au N = 0.4 mm/a**
- **distorsions locales, corrélation**  
**avec des «sources et anhydrite»**
- **Séries de mesures à différentes**  
**époques = résultats, si:**
- **des points stables et durables**  
**restent disponibles**
- **... et que l'on fasse attention à ces**  
**points!!**
- **On profite aujourd'hui de travaux**  
**réalisés 39 et 111 ans auparavant,**  
**qui ont été bien documentés**
- **Un grand merci à tous les**  
**participants!**



# Besten Dank für die Aufmerksamkeit

## Merci pour votre attention



Fragen Questions?



# Inhalt

## 1. Einführung

Matthias Kistler – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Grundlagen der Zeitreihenanalyse
- Anwendungsbeispiele aus der LV und IV
- Wichtige Zeitreihen in der geodätischen Landesvermessung

## Introduction

Bases pour l'analyse des séries de temps

Exemple d'applications pour la MN et MT

Séries de temps importantes pour la mensuration national géodésique

## 2. Überwachung des Felssturzgebietes an der Chli Windgälle 1933 – 2015

### Surveillance de la zone de glissement au Chli Windgälle 1933 – 2015

Lukas Eggimann – Abteilungsleiter Naturgefahren · Amt für Forst und Jagd Kanton Uri

- Geschichte und Geologie
- Überwachungskonzept
- Pilotprojekt terr. Radarinterferometrie

Histoire et géologie

Concept de surveillance

Projet pilote radar interférométrie terrestre

## 3. 100 Jahre Landesnivelllement im Simplontunnel

### 100 ans de nivelllement fédéral dans le tunnel du Simplon

Andreas Schlatter – Geodätische Landesvermessung · swisstopo

- Landesnivelllement und rezente Bewegungen
- Messanlage und Deformationsanalyse

Nivellement fédéral et mouvements récents

Installation de mesure et analyse de déformation

## 4. 10 Grundlagen- und Überwachungsnetz Mont Terri

### 10 ans réseau de base et de surveillance au Mont Terri

Peter Mahler - Wissenschaftlicher Mitarbeiter · Institut Geomatik FHNW

- Netzanlage und -Erweiterungen
- Präzisions-Tunnelvermessung
- Deformationsanalyse

Mise en place du réseau et extensions

Mesures de précisions dans les tunnels

Analyse des déformations

Hinweis: Zeitreihen von GNSS-Permanentstationen / CHTRF werden in der Kolloquiumsreihe 2018/19 vorgestellt

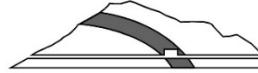


# 10 Jahre Grundlagen- und Überwachungsmessungen Mont Terri: Präzisionstunnelvermessung für die Entwicklung und Austestung eines Überwachungskonzepts für zukünftige geologische Tiefenlager

## Geodätische Zeitreihen Felslabor Mont Terri

Peter Mahler





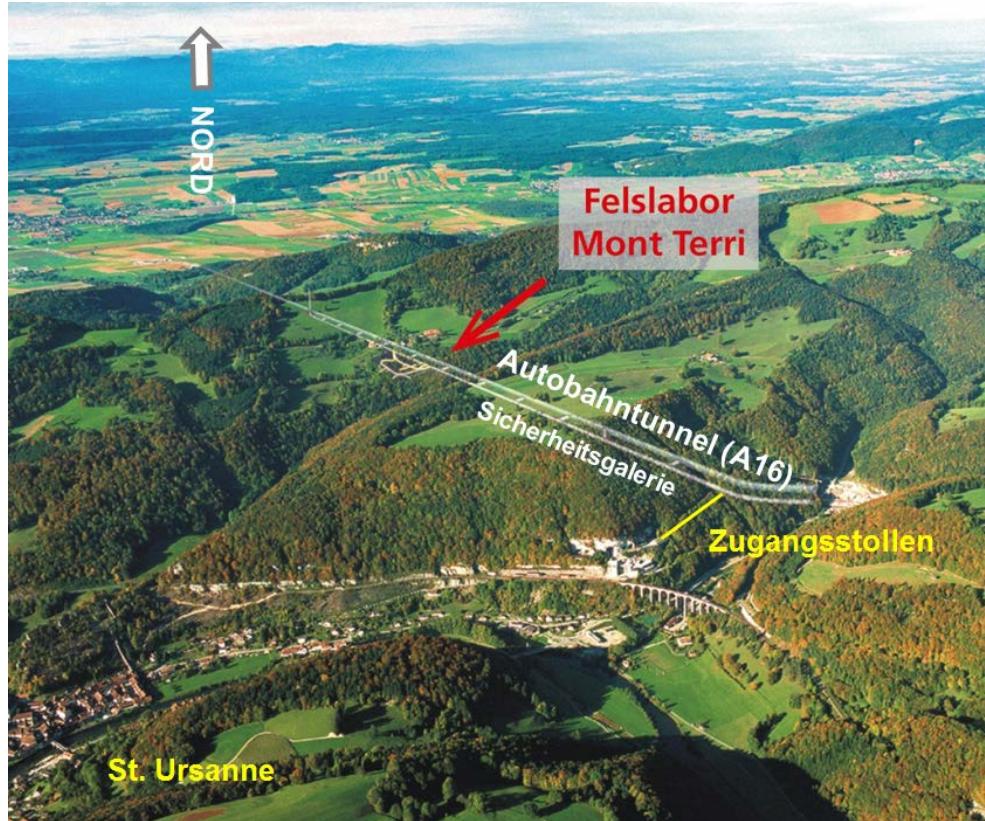
# Agenda

1. Teil: Projektübersicht
2. Teil: Stand der geodätischen Arbeiten und vorhanden Messreihen
3. Teil: Zeitreihen und deren Analyse
4. Teil: Ausblick



# Projektübersicht

## Steckbrief



Quelle: [www.mont-terri.ch](http://www.mont-terri.ch)

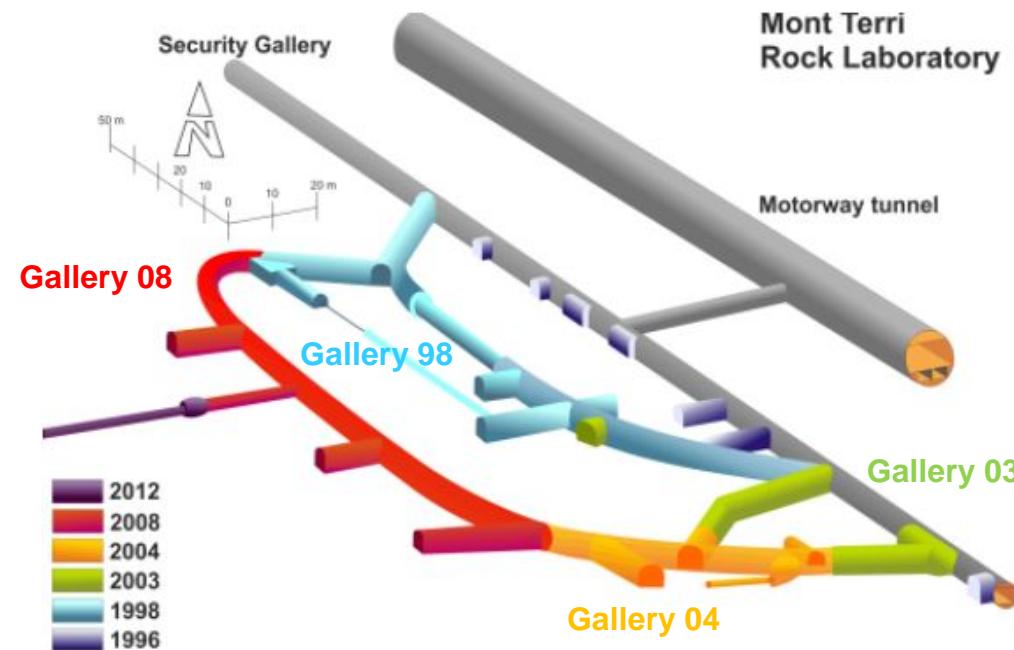
- Mont Terri Projekt – Internationales Forschungsprojekt  
8 Staaten + EU  
17 Partner (Kapitalgeber)  
ca. 50 Forschungsinstitute
- Start: 1996  
Ausbau bis 2012,  
nächste Erweiterung: 2018/19
- 300 m unter der Erdoberfläche
- 1200 m vom Süd-Portal des 4.3 Km langen Autobahntunnels entfernt



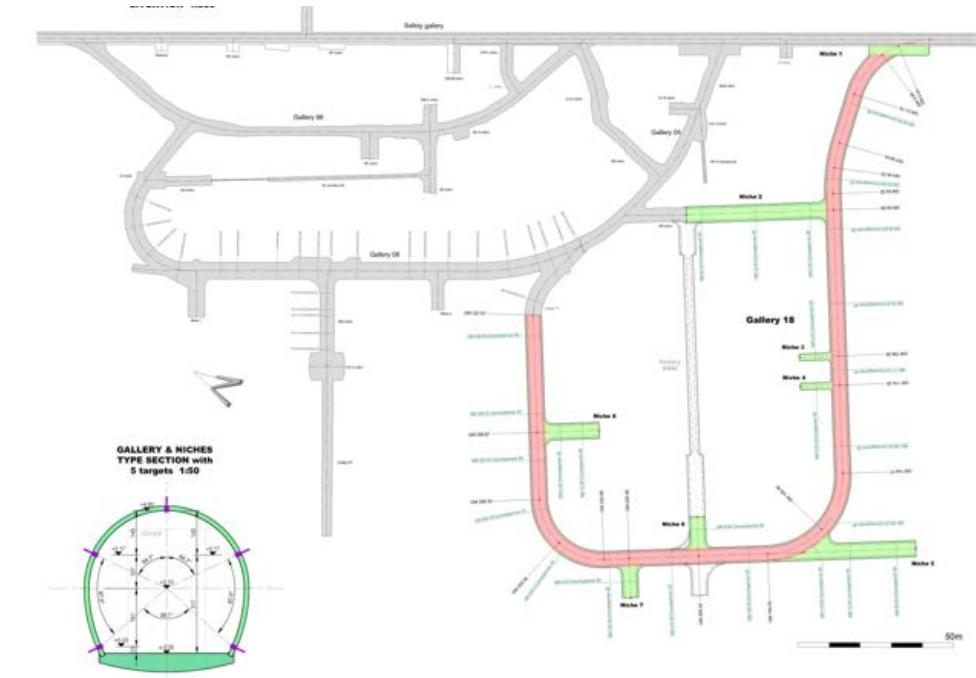
# Projektübersicht

## Steckbrief

Quelle: [www.mont-terri.ch](http://www.mont-terri.ch)



700 m Galerien und Nischen für bestehende Experimente



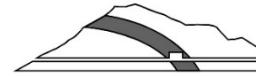
Ausbau 2018/19: + 500 m Galerien und Nischen für weitere Experimente



# Projektübersicht

## Motivation / Ziele

- Geodätische Erschliessung des Felslabors mit dem Ziel, ein **Überwachungskonzept** für zukünftige geologische Tiefenlager auszutesten und zu erarbeiten
- Optimierung und Erweiterung der Netzanlage sowie der Sensorik und Messverfahren für ein hochpräzises **geodätisches Grundlagen- und Überwachungsnetz**
- Erkennen und Eliminieren oder Minimieren von **systematischen Messabweichungen** wie z.B. Verdrehung Polygonzug, Refraktion, Additions- und Prismenkonstanten, Festpunktprüfung, ...
- Untersuchungen bezüglich der Einbindung und Georeferenzierung verschiedener **geotechnischer Sensoren**
- Ausbildungsprojekt → **Nachwuchsförderung**



# Projektübersicht

## Experimente → MH-Experiment

**MH-Experiment:**  
**Long-term monitoring of heaves (1D)**

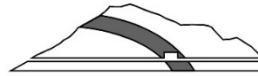
**MH-Experiment:**  
**Long-term monitoring of displacement (4D)**

Abbreviations	Definitions
AS	Ambiguity and rock
BB	Borehole behaviour
BF	Borehole fluid effect
BN	Bluwers-ritsleide
BW	Short term borehole
CD	Cyclic deformation
CP	Cement-clay interface
CM	Chemical and physical
CS	High pH cement pore
DS	Deep well sealing line
DB	Deep inclined borehole
DF	Diffusion experiments
DM	Determination methods
DR	Diffusion, deformation
DS	Determination of site
DT	Drilling techniques
EB	Engineering parameters
ED	EDZ (Excavation Damage Zone)
EG	EDZ gas diffusion
EP	EDZ gas diffusion
ER	EDZ self-healing
EZ	EDZ fracture generation
FE	Fine scale simulation
FM	Flow mechanisms & migration
FP	Fracture propagation
FS	In-situ clay fracturing
GD	Analysis of gas flow
GM	Geochemical modelling
HP	Horizonal stress
HS	Hydrostatic pressure
GS	Geometric scaling
HA	Hydrogeological annealing
HE	Healer experiment
HS	Gas permeability at high pressure
HS	Lab tests on fly ash
HT	Hydrofracture transfer
IC	Iron corrosion of ODS
IS	In situ stress
LP	Long-term monitoring
LT	Laboratory temporal
MA	Microbial activity
MB	Mercury Test
MD	Microbial deactivation
MI	Cosmic moon deactivation
ML	Long term monitoring
MO	Monitoring
NP	Natural gas profile
OP	Osmotic pore pressure
PC	Porewater chemistry
PP	Porewater profile
PS	Permeable and stable
RA	Rock mechanics and
RB	Rock mechanics and
RC	Rock mass character
SB	Self-sealing barriers
SE	Self-healing
SF	Self-sealing of faults
SH	High resolution seismic
SO	Schlierenometry of ODS
SR	Low pH spontaneous
TH	Microscale THMC
TH	Uninvestigated 2018
UZ	Investigation of 2018
VA	Ventilation of salt
VE	Ventilation test
WS	Ground and porewater sampling

- 153 Experimente
  - 100 abgeschlossen
  - 53 sind am Laufen

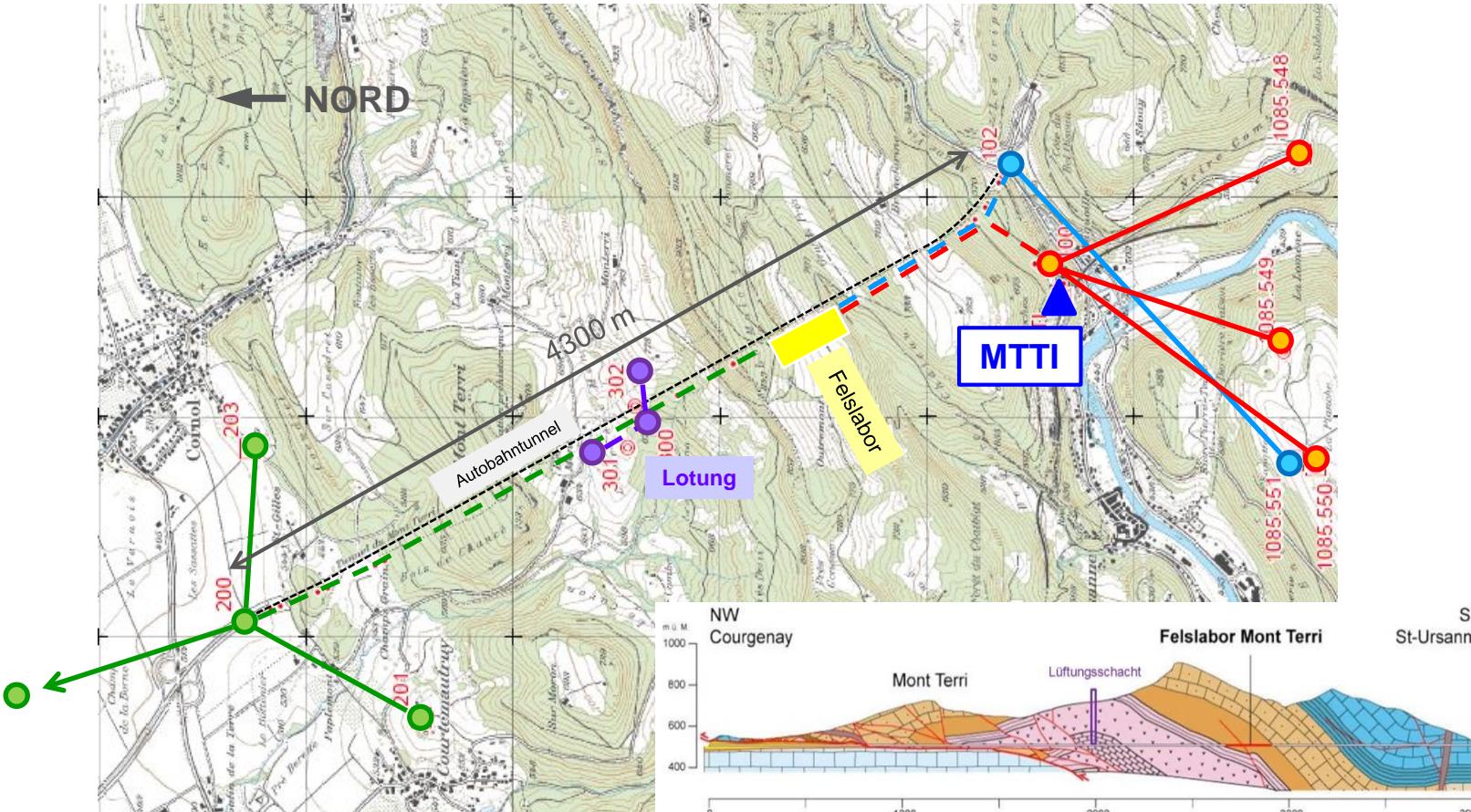
(Stand: Februar 2018)

## → 4. Dimension (Zeit) → Zeitreihe



# Projektübersicht

## Messkonzept



Quelle: [www.mont-terri.ch](http://www.mont-terri.ch)

2007

2009

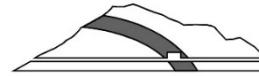
2010

2011

2013

2017

2015



# Projektübersicht

## Eingesetztes geodätisches Messinstrumentarium



### Mobile GNSS – Systeme:

Trimble 5700 Zephyr  
Trimble NetR9  
Leica System 1200  
Leica System Viva



### Permanentes GNSS – System:

Referenzstation MTI, Leica  
AR25



**Prismen:**  
Leica GPR121  
Leica GPH1P

### Präzisions- Nivellement:

Trimble DINI03  
Zeiss DINI10/11  
Leica DNA03, LS15



### Präzisions-Kreisel:

DMT Gyromat 2000 mit  
Theodolit Leica T1600

### Präzisions-Lotung:

Wild (Leica) Zenitlot, ZL-A  
Wild (Leica) Nadirot, NL-A

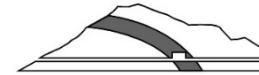




# Stand der geodätischen Arbeiten und vorhandenen Messreihen

## Übersicht

<b>swisstopo</b>	2007.09 - 11	Nullmessung
	2008.04 - 11 2009.05	5 Nivellement-Messkampagnen im Labor während und nach dem Bau der Gallery08
	2009.02	1. Folgemessung (Winter)
	2009.07	2. Folgemessung (Sommer)
<b>metas</b>	2009.08	Absolute Schweremessungen (Nullmessung)
	2010.02	Bau- und Inbetriebnahme permanente GNSS-Referenzstation MTTI (AGNES-Netz)
	2018.01	Nullmessung (nur Nivellement) vor Laborerweiterung
<b>FHNW</b>	2011.05	3. Folgemessung mit 13 Studierenden (6. Semester)
	2013.05	4. Folgemessung mit 17 Studierenden (6. Semester)
	2015.05 - 06	5. Folgemessung mit 13 + 15 Studierenden (6. + 2. Semester)
	2017.05 - 06	6. Folgemessung mit 10 + 16 Studierenden (6. + 2. Semester)



# Stand der geodätischen Arbeiten und vorhandenen Messreihen

## Erreichte Genauigkeiten im Felslabor

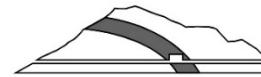
Jahr	Netzvariante	Symbol	Lagerung:		/ relativ
			absolut	theoretisch	
			mfa <sup>1</sup> [mm]	mfa <sup>1</sup> [mm]	
2007	Mit altem Pfeiler beim Südportal	↖	13.8	8.0	
2009					
2011	Mit <u>neuem</u> Pfeiler beim Südportal plus zweiter Anschluss Südportal Autobahn	—	4.6	2.4	
2013	Mit <u>neuem</u> Pfeiler beim Südportal plus zweiter Anschluss Südportal Autobahn plus dritter Anschluss Nordportal	— — —	3.0	1.2	
2015	Mit <u>neuem</u> Pfeiler beim Südportal plus zweiter Anschluss Südportal Autobahn plus dritter Anschluss Nordportal plus Lotung durch den Lüftungsschacht	— — — ●	0.9	1.3	0.8
2017	Mit <u>neuem</u> Pfeiler beim Südportal plus zweiter Anschluss Südportal Autobahn plus dritter Anschluss Nordportal	— —	3.0	1.8 (prov.)	0.5 (prov.)

<sup>1</sup> Lagegenauigkeit innerhalb Konfidenzellipse Niveau 95% = 2.45 x mfa

# Stand der geodätischen Arbeiten und vorhandenen Messreihen

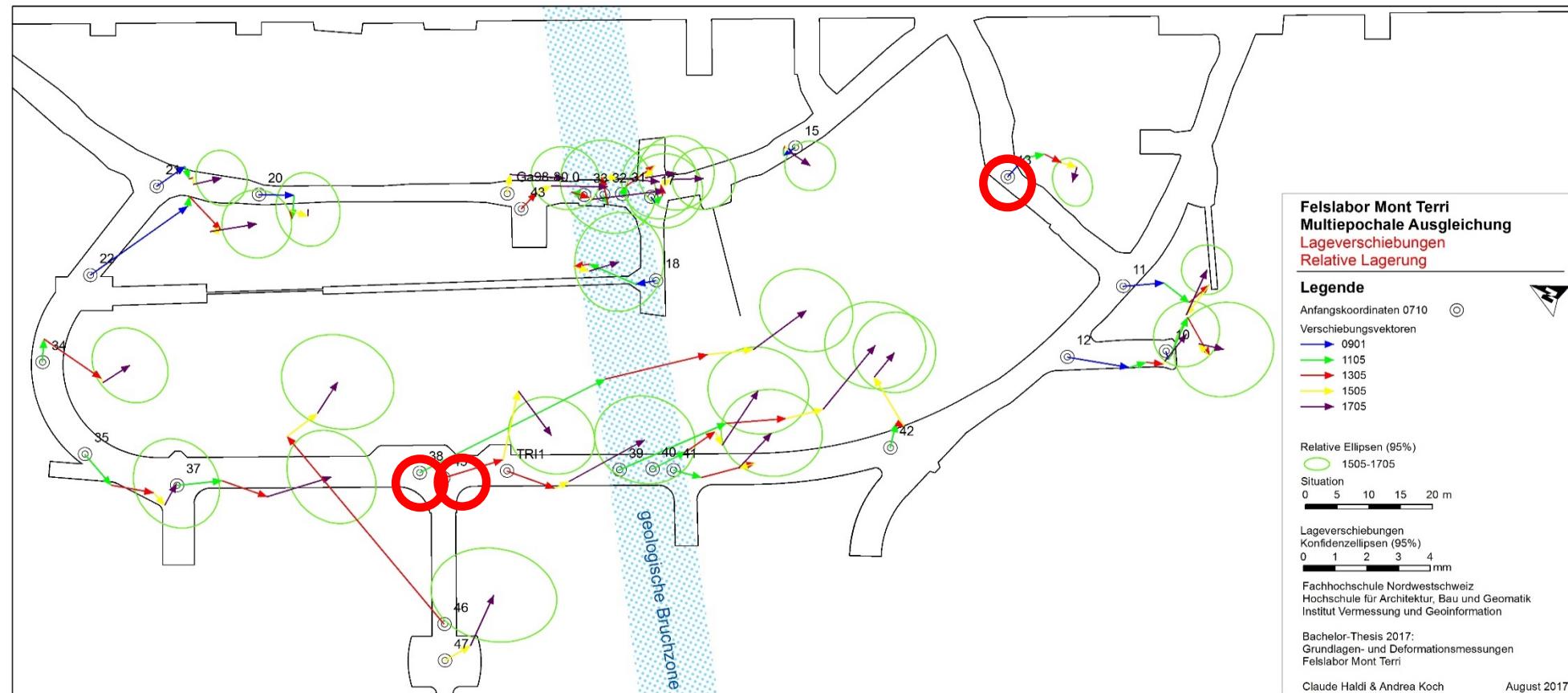
## Erkenntnisse aus 10 Jahren Erfahrung

- Eine durchdachte **Netzanlage** zusammen mit der sorgfältigen Wahl der **Sensorik** und die adäquate Berücksichtigung der **Modelle** ist für den Erfolg essentiell.
- Mit jeder Messepoche und der damit verbundenen Optimierungen und Netzerweiterungen konnten **systematische Abweichungen** eliminiert oder minimiert werden.  
(Kontrolle der Polygonzüge → Kreiselmessungen, Additions- und Prismenkonstanten → Kalibrierung, Refraktion → möglichst vermeiden, relative Netzlagerung beim Felslabor → Common Mode Filterung)
- Die Georeferenzierung von **geotechnischen Sensoren** erfordert spezielle Lösungen → z.T. müssen dafür spezielle Adapter entwickelt werden.
- **Lotungsmessungen** sind aufwändig und anspruchsvoll; sie erfüllen unter schwierigen Bedingungen die theoretischen Genauigkeitswerte nicht.
- **Versicherung der Vermessungspunkte** in der Mitte des Tunnels (wegen Seitenrefraktion!), jedoch nicht in einer Linie im Polygonzug
- Punkt Genauigkeitssteigerung stösst man an **atmosphärische und physikalische Grenzen**.
- Für alle Beteiligten ist das Beherrschung der Sensorik und Messtechnik sowie **gewissenhaftes und präzises Arbeiten** unabdingbar.
- Die **multiepochale Auswertung** ist umfangreich und anspruchsvoll.

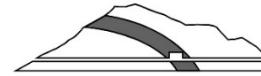


# Zeitreihen und deren Analyse

## Resultate - Deformationsanalyse 2007 - 2017 Lage

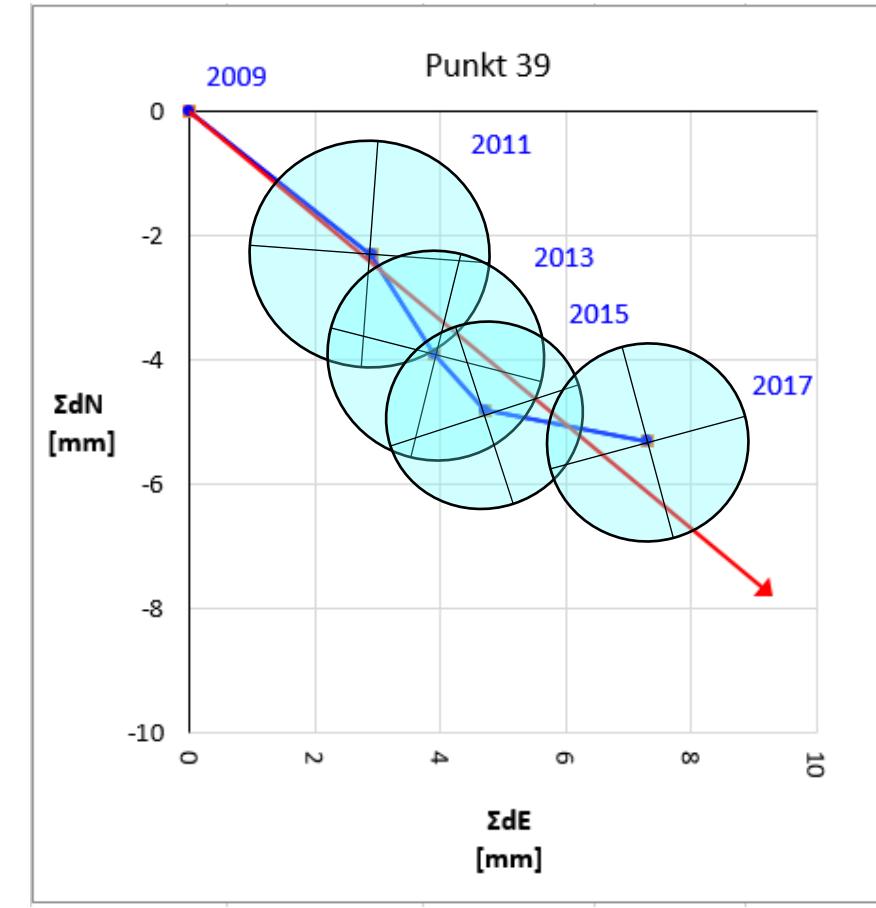
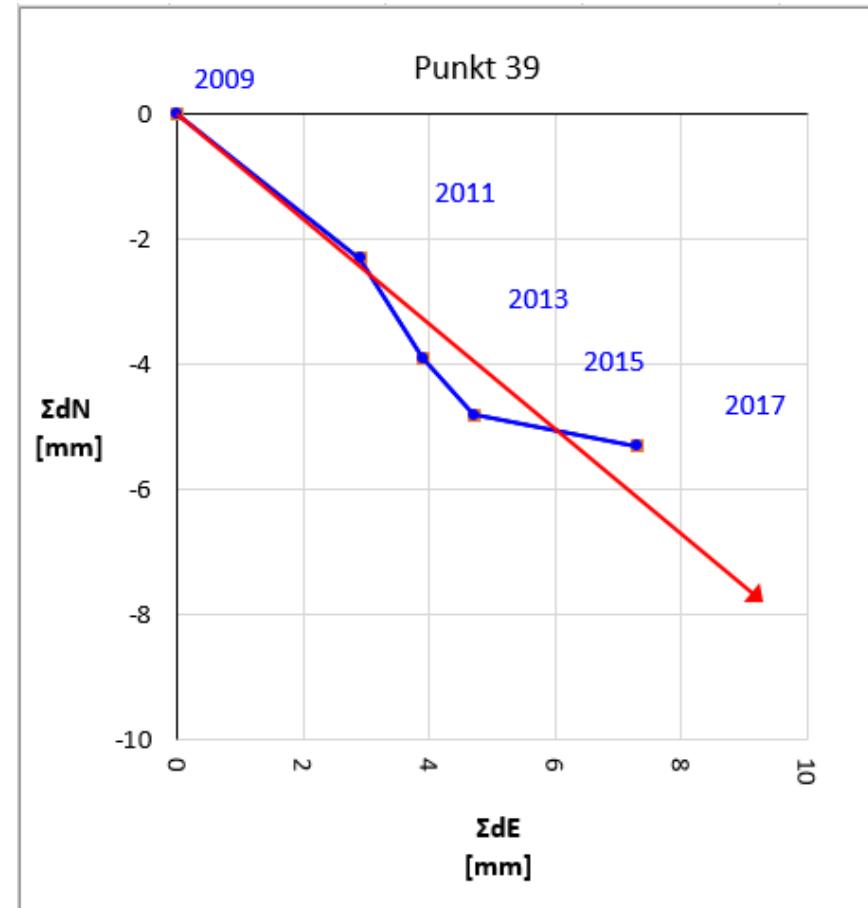


Quelle: Bachelor-Thesis 2017, FHNW



# Zeitreihen und deren Analyse

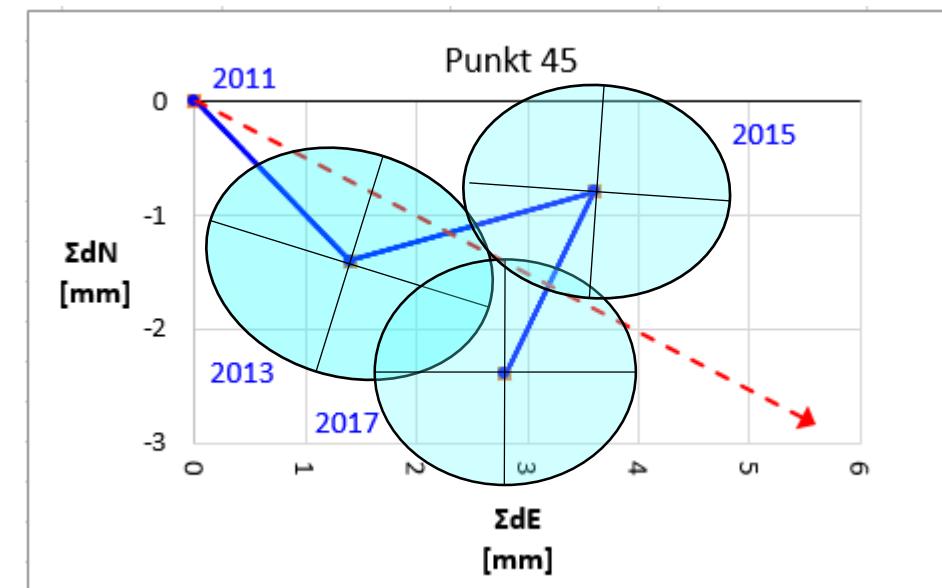
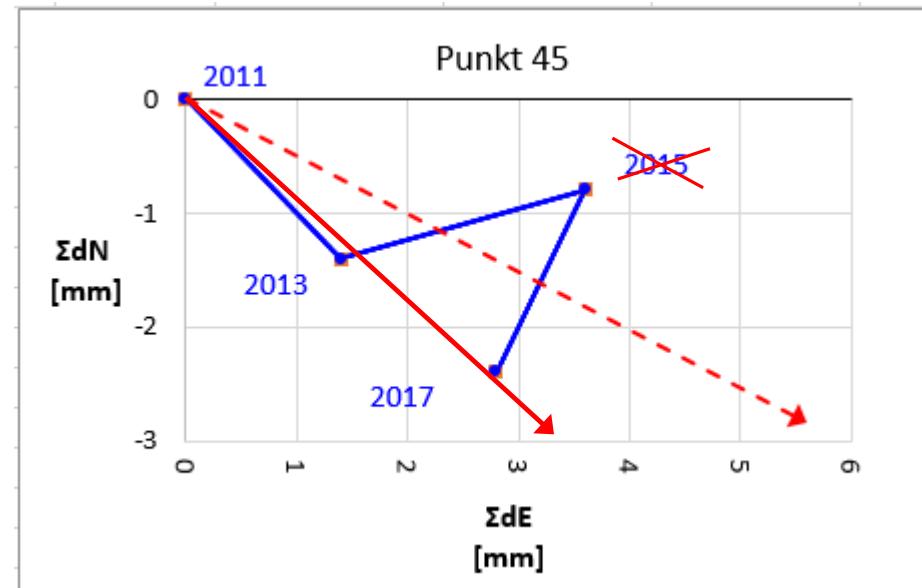
## Resultate - Deformationsanalyse 2009 - 2017 Lage (Punkt 39)





# Zeitreihen und deren Analyse

## Resultate - Deformationsanalyse 2011 - 2017 Lage (Punkt 45)

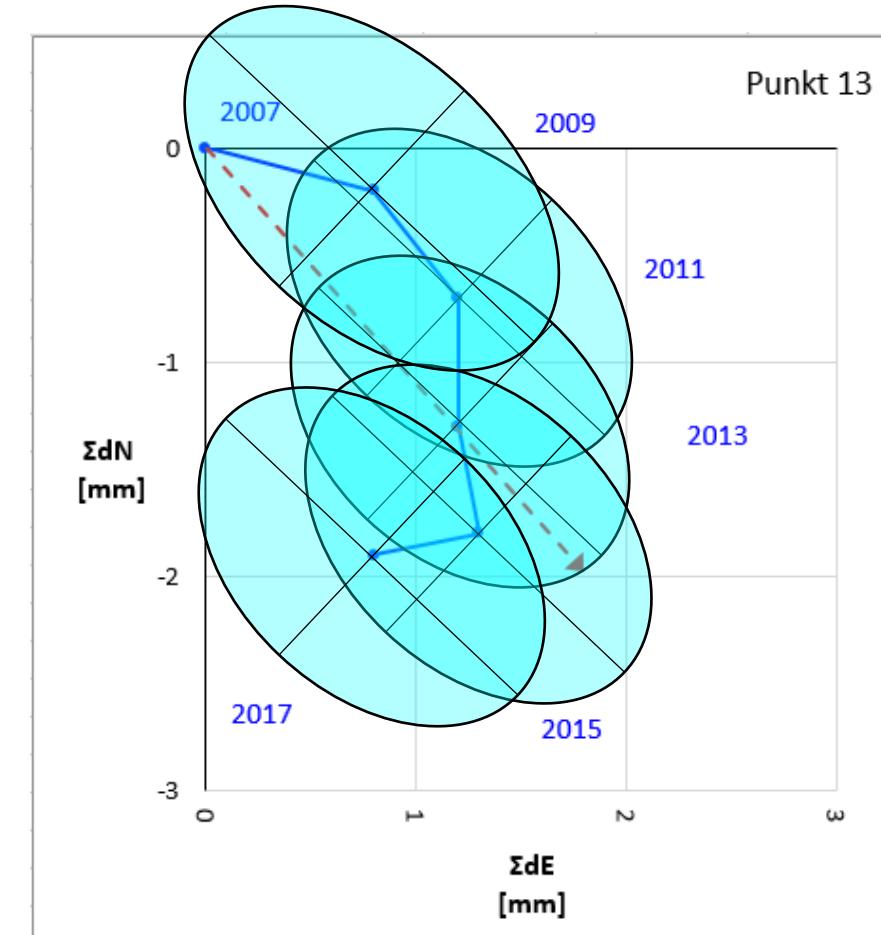
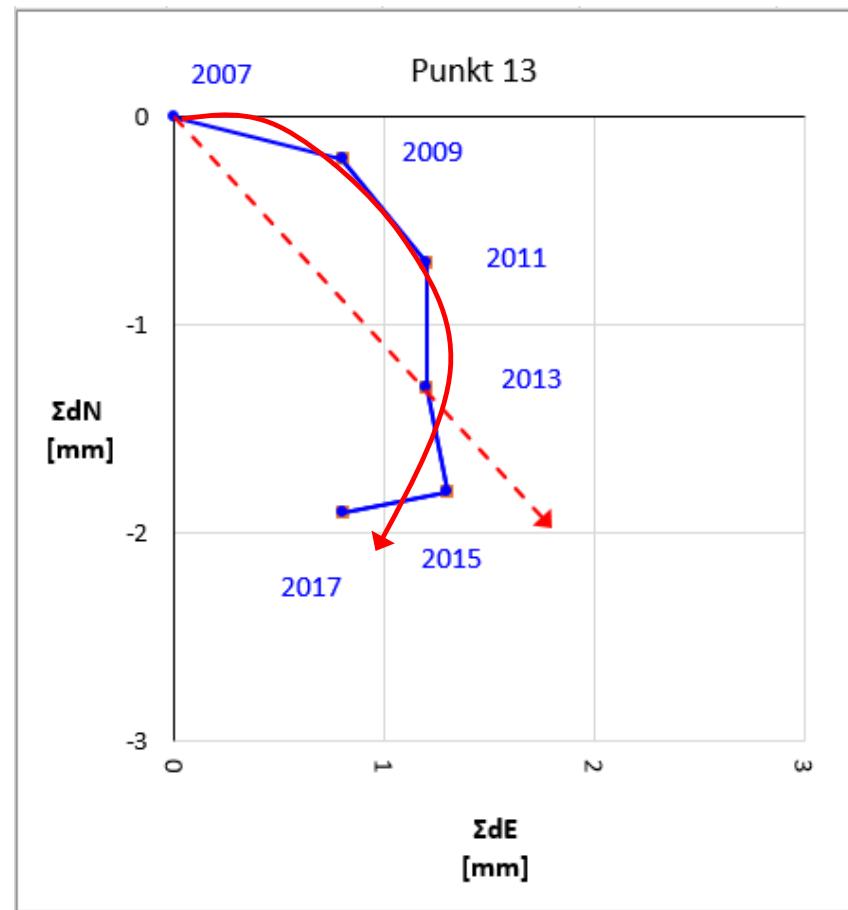


Vermutung: Zentrierfehler im 2015!



# Zeitreihen und deren Analyse

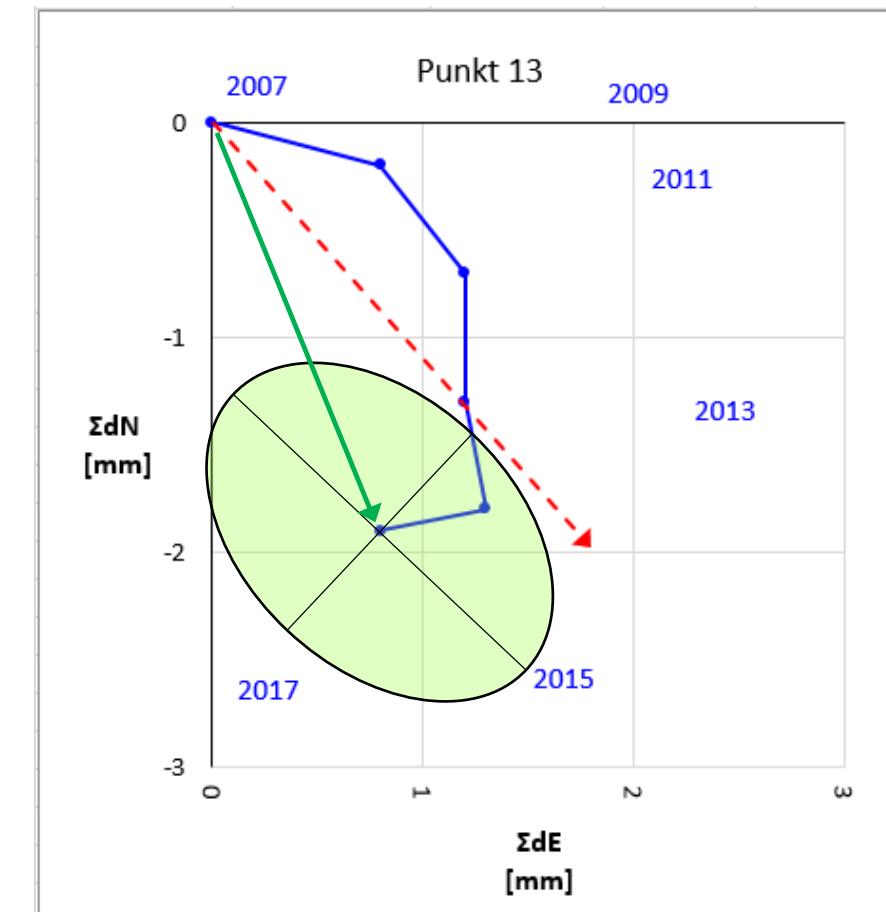
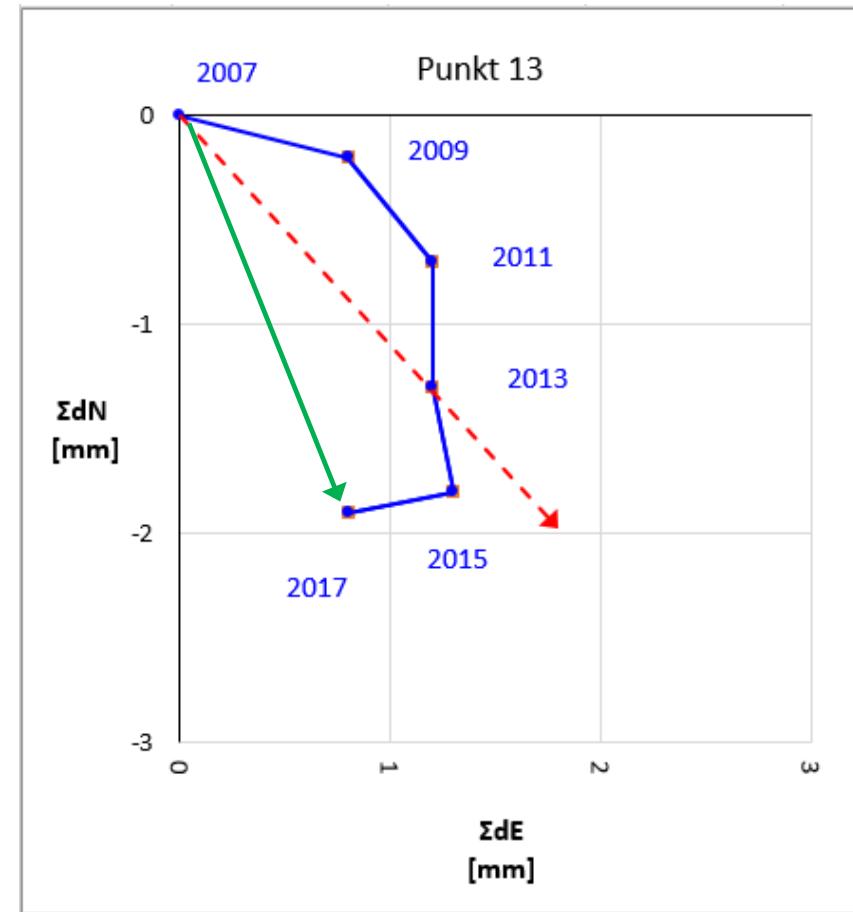
## Resultate - Deformationsanalyse 2007 - 2017 Lage (Punkt 13)

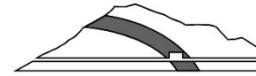




# Zeitreihen und deren Analyse

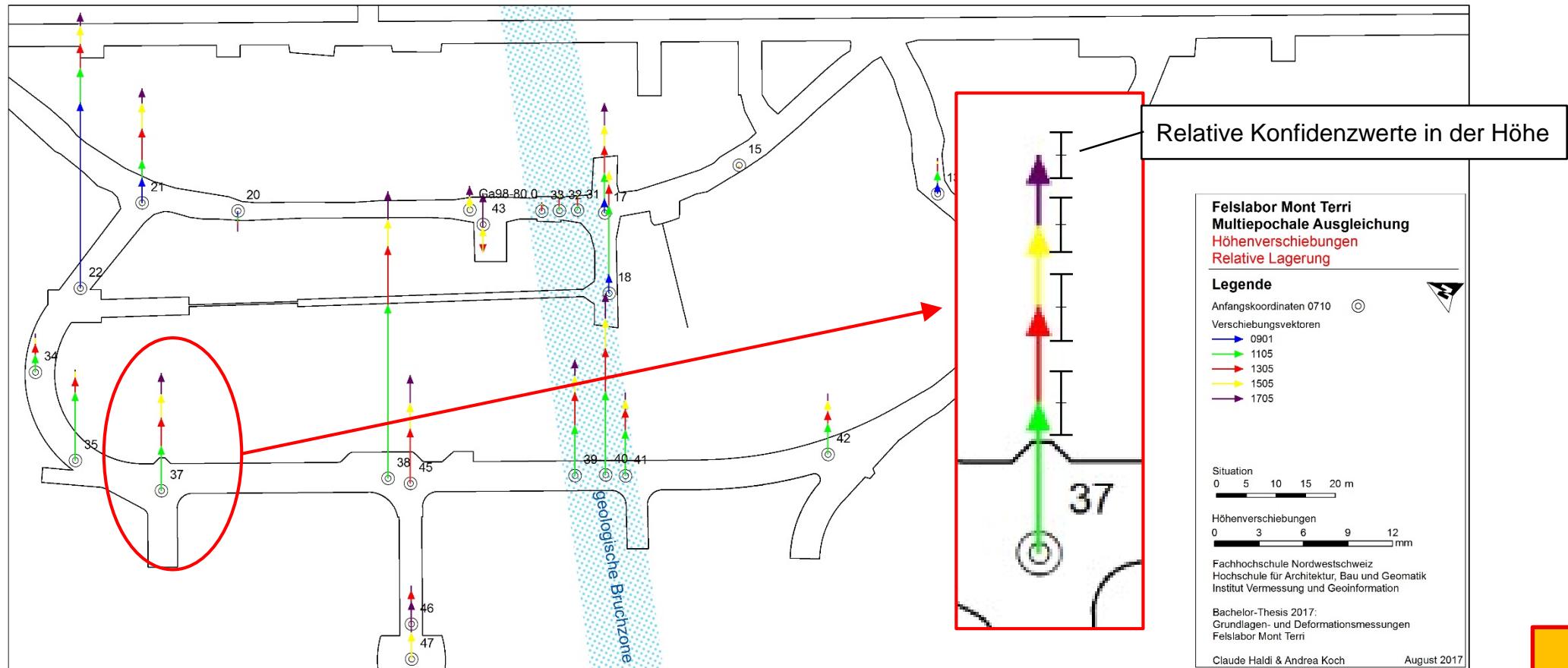
## Resultate - Deformationsanalyse 2007 - 2017 Lage (Punkt 13)



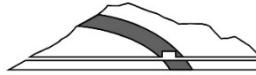


# Zeitreihen und deren Analyse

## Resultate - Deformationsanalyse 2007 - 2017 Höhe

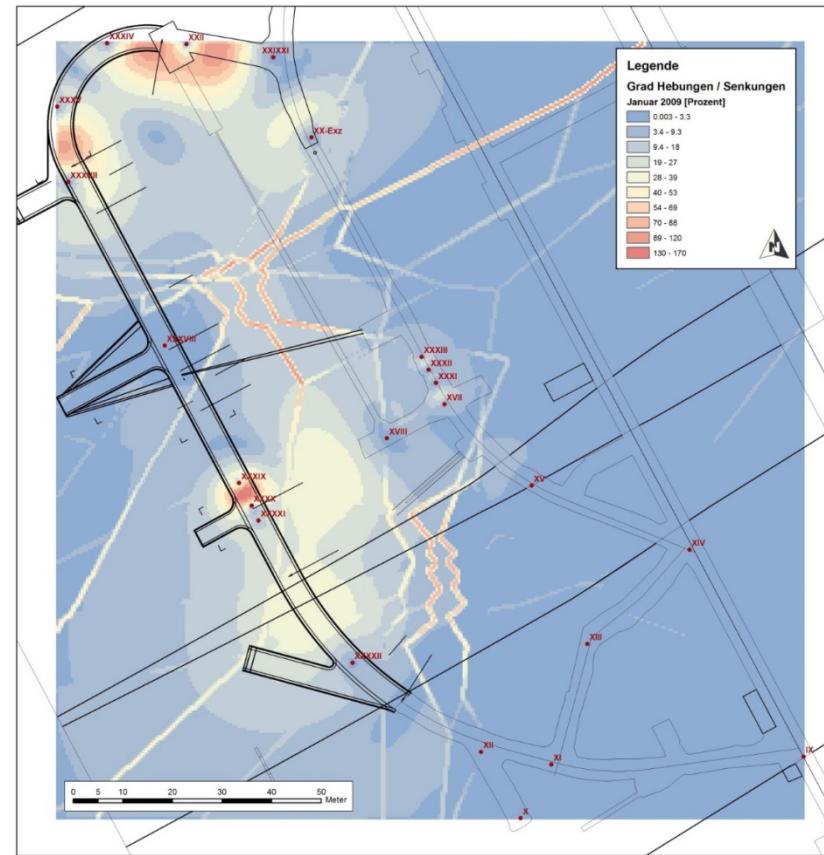
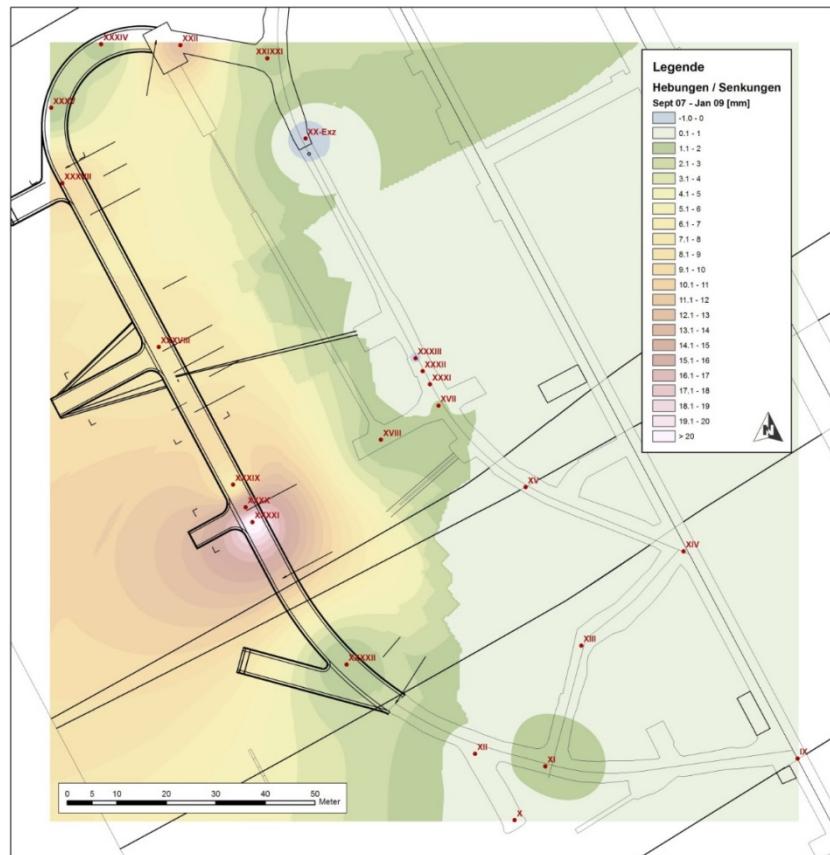


Quelle: Bachelor-Thesis 2017, FHNW



# Zeitreihen und deren Analyse

## **Hebungen während und nach der Laborerweiterung 2008/2009**



Quelle: swisstopo



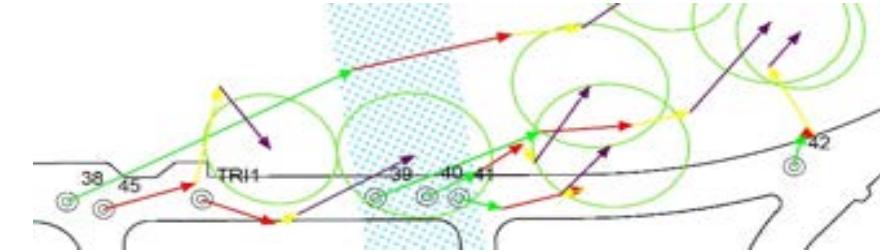
# Ausblick

## Pendenzen, Optimierungen

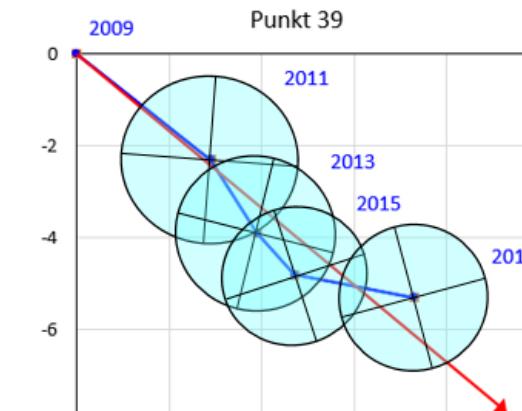
- **Diskussion** der Deformationsanalyse mit den Geologen (Plausibilität?, kausale Zusammenhänge klären, ...)

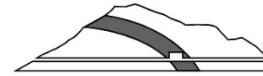
- Eine LTOP-Version, wo auch die **relativen Konfidenzwerte in der Höhe** berechnet werden
- Weitere **punktspezifische Zeitreihen-Analysen** wie gezeigt

Berücksichtigung der Erkenntnisse und Vorschläge beschrieben im Artikel "**Uncertainty of Motion Detection from Coordinate Differences**", Wieser Andreas (2013), avn



$$m_{\Delta H} = m_0 \cdot \sqrt{Q_{\Delta H \Delta H}} \quad Q_{\Delta H \Delta H} = F \cdot Q_{HH} \cdot F^T$$



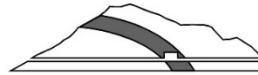


# Ausblick

## Pendenzen, Optimierungen

- Berücksichtigung der **Prismenkalibrierwerte** nicht nur für die Distanzen, sondern auch für die Richtungsmessungen (→ Erweiterung von PC-TRI)
- Genauigkeit kann nur noch gesteigert werden, wenn die Messkampagne bei **optimalen atmosphärischen Bedingungen** durchgeführt wird d.h. bedeckter Himmel, Innen- und Außentemperatur etwa gleich (ca. 13°C), eher trockene Luft
- Es gibt noch Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich des **Zubehörs** (→ einwandfreie Funktionalität, sorgfältige Kalibrierung, immer gleiches Zubehör, möglichst kein Wechsel während den Messungen, ...)

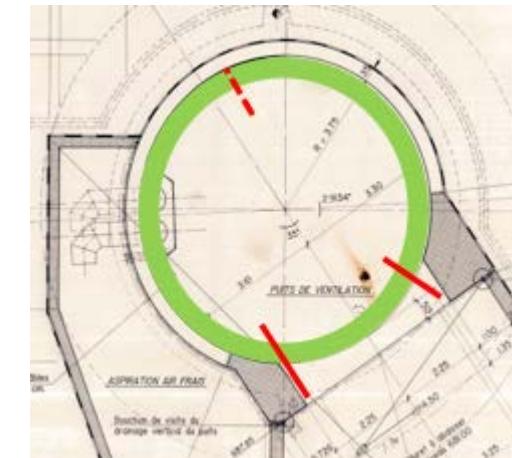
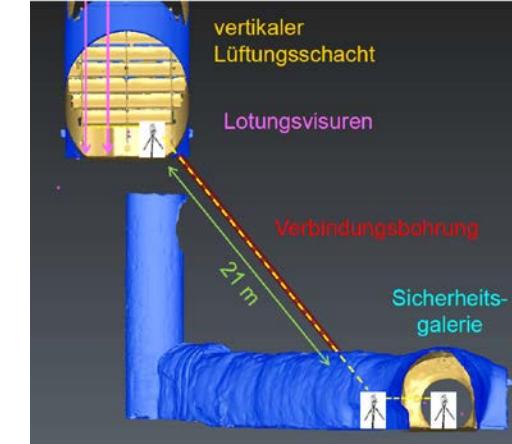




# Ausblick

## Pendenzen, Optimierungen

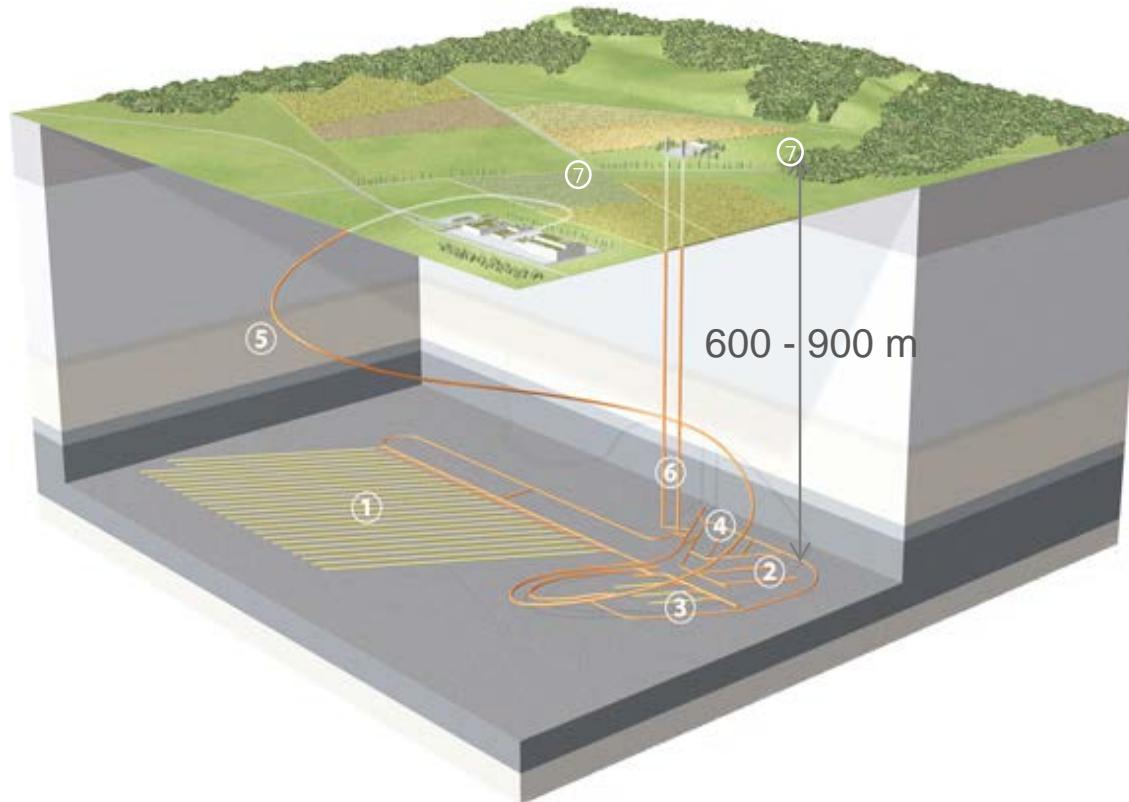
- **Verbindungsbohrung** zur Stützung des Polygonzuges in der Mitte des Sicherheitsstollens, um die absolute Genauigkeit ( $1\sigma$ ) im Felslabor weiter zu erhöhen (auf unter 1 mm wäre gemäss Präanalyse möglich)
- Den ausgedienten vertikalen Lüftungsschacht des Autobahntunnels Mont Terri als **Labor** (Versuchsanlage) nutzen (→ Optimierung der Lotung, Richtungsübertragung, weitere Messmethoden ?)





# Ausblick

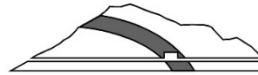
## Geologisches Tiefenlager (Variante 1)



### Legende:

- ① Lagerstollen für hochaktive Abfälle und verbrauchte Brennelemente
- ② Lagertunnel für langlebige mittelaktive Abfälle
- ③ Testbereich / Felslabor
- ④ Pilotlager
- ⑤ Zugangstunnel (bei 10% Gefälle: 6 bis 9 km)
- ⑥ Schacht
- ⑦ Oberflächenanlagen

Modellvorstellungen eines geologischen Tiefenlagers, Quelle: Nagra

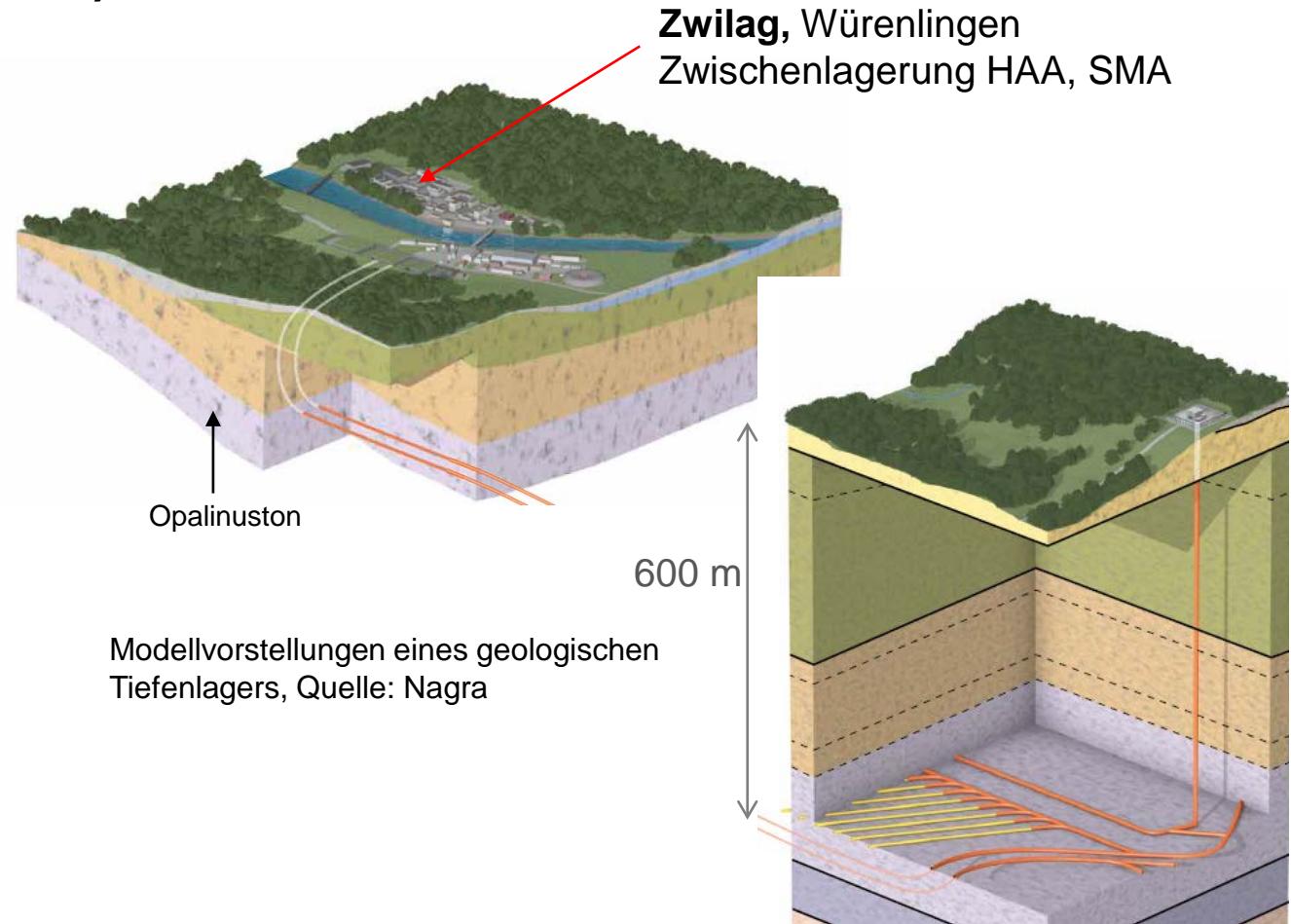


# Ausblick

## Geologisches Tiefenlager (Variante 2)



Situationsplan Endlagergebiet Jura Ost mit Oberflächenanlage (rot), Quelle: Nagra



Modellvorstellungen eines geologischen Tiefenlagers, Quelle: Nagra



# Ausblick

## Überwachungskonzept

→ Übergeordnetes Ziel:

Erarbeitung eines Überwachungskonzept für  
zukünftige geologische Tiefenlager

→ (Geo) Monitoring

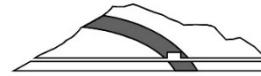
Nebst geodätischen Sensoren, Einbindung von  
Thermodynamischen, Hydrologischen,  
Mechanischen und Chemischen Sensoren  
(Radioaktivitätsmessung, ...)

Weitgehend automatisiert!

Mensch und/oder Roboter?



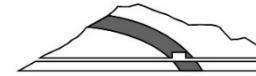
Quelle: de.dreamstime.com



# Dank

## An folgende Personen, Institutionen und Firmen

- swisstopo (Geodäsie): Matthias Kistler, Dr. Andreas Schlatter, Christian Baumann, Sebastian Condamin, Stefan Beckel, Bruno Mattli, Tom Seiler, Beat Klossner
- swisstopo (Geologie): Dr. Paul Bossart, Dr. Senecio Schäfer, Thierry Theurillat
- Leica Geosystems AG: Alain Brugger
- Jauslin + Stebler AG: Peter Wehrli und Mitarbeiter
- ristag ag: Hans-Ueli Riesen und Mitarbeiter
- ETHZ: Prof. Dr. Andreas Wieser und Mitarbeiter
- FHNW: Reto Stibler, Studierende



# Literaturverzeichnis

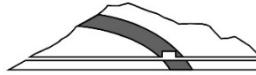
...

Wieser Andreas (2013): "Uncertainty of Motion Detection from Coordinate Differences".  
avn – Allgemeine Vermessungsnachrichten, 120 (4/2013), S. 123 – 128

Mahler Peter, Kistler Matthias, Schefer Senecio (2017): "Geodätisches Grundlagen- und Deformationsnetz für das Felslabor Mont Terri in St. Ursanne – Tunnelvermessung mit höchster Präzision".  
Geomatik Schweiz, 1,2/2017, S. 34 – 44

Kistler Matthias, Mahler Peter, Schefer Senecio, Andreas Schlatter, Sebastian Condamin (2017): "10 Jahre geodätisches Grundlagen- und Überwachungsnetz im Felslabor Mont Terri: Präzisions-Tunnelvermessung für die Entwicklung und Austestung eines Überwachungskonzepts für zukünftige Tiefenlager".  
Ingenieurvermessungskurs 2017 Graz, W. Lienhart (Hrsg.), Herbert Wichmann Verlag

Salvini Dante, Schär Pascal (2017): "Zeitreihenanalyse", Präsentation zu Modul 6230 Geodäsie  
Ingenieurgeodäsie Muttenz: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Geomatik (unveröffentlicht)



# Fragen ?



Präzisions-Nivellement im Zugangsstollen zum Felslabor Mont Terri, 2017

Peter Mahler  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Fachhochschule Nordwestschweiz  
Gründenstrasse 40

Kriegackerstrasse 30 (ab August 2018)  
4132 Muttenz  
Tel.: 061 228 54 75  
Email: [peter.mahler@fhnw.ch](mailto:peter.mahler@fhnw.ch)



Neuer FHNW-Campus  
Muttenz  
Ab Herbst 2018



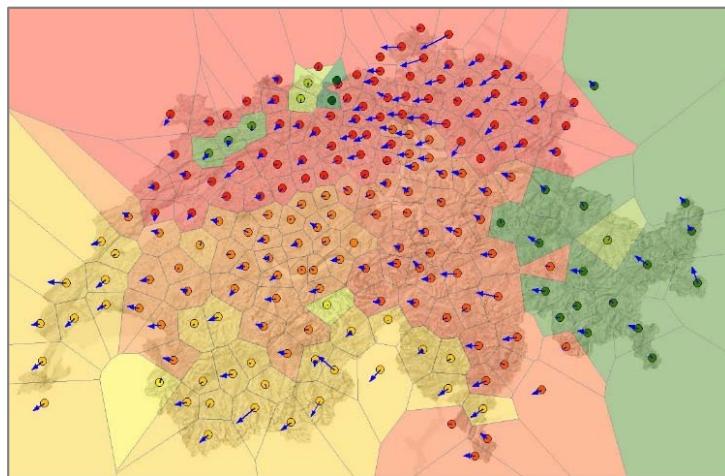
# Zusammenfassung Résumé

- Après un aperçu de certaines séries chronologiques de la mensuration géodésique nationale et technique, un aperçu des sujets suivants a été donné:
  - > Surveillance de la zone de chute de Chli Windgälle d'un point de vue géologique, respectivement une vue des risques naturels
  - > 100 ans de nivellation fédéral et dans le tunnel du Simplon
  - > Mesure de précision en tunnel et promotion des jeunes talents dans le laboratoire souterrain de Mont Terri
- Pour que des séries chronologiques soient créées et analysées, il est nécessaire d'effectuer des mesures régulières et équidistantes avec une précision égale (ou meilleure)
- L'analyse des séries chronologiques nécessite une documentation minutieuse et détaillée
  - > La mensuration géodésique nationale documente son travail en Docus, rapports ou manuels. les données de mesure et les rapports sont stockés numériquement depuis longtemps et ces derniers également sous forme analogique



## Ausblick Perspectives

- La mensuration géodésique nationale poursuit les séries chronologiques! «La prochaine étape sera l'évaluation globale de CHTRF2016, qui sera publiée plus tard cette année, et le suivi des travaux d'agrandissement du laboratoire du Mont Terri.
- Clarification du potentiel de l'interférométrie radar par satellite pour la mensuration nationale  
    > **Colloque du 27 avril 2018**
- En outre, nous sommes en train de calculer des indicateurs d'exactitude aussi réalistes que possible pour les estimations de vitesse en utilisant des méthodes statistiques géodésiques et le potentiel d'ArcMap - Analyseur spatial et statistique pour les champs de vitesse à grande échelle, par ex. pour la détection de cluster, ou leur clarification





# Fehlerfortpflanzung

Zwei Methode, um die Genauigkeit einer Geschwindigkeit zu bestimmen:

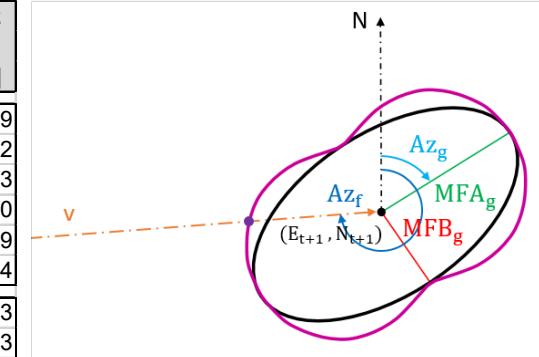
- **Fehlerfortpflanzung**

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial N_1} * \sigma_{N_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial N_2} * \sigma_{N_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial E_1} * \sigma_{E_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial E_2} * \sigma_{E_2}\right)^2}$$

- **Fusspunktkurve**

$$\sigma(\phi) = \sqrt{F(\phi) \cdot K_{vv} \cdot F(\phi)^T} = \sqrt{\sin^2 \phi \cdot K_{EE} + \cos^2 \phi \cdot K_{NN} + 2 \sin \phi \cos \phi \cdot K_{EN}}$$

Punkt	Epoche	Grosse Halbachse Konfidenzellipse [95% - mm]	Geschwindigkeit [mm/Jahr]	Genauigkeit Fehlerfortpflanzung [95% - mm/Jahr]	Genauigkeit Fusspunktkurve [95% - mm/Jahr]	Differenz [mm/Jahr]
FRENTSCH	1933-1966	33		0.14	0.43	1.02
	1966-1969	3		7.47	3.51	6.34
	1969-1984	15		0.50	0.50	0.73
	1984-1993	9		-1.16	0.48	0.38
	1993-2003	10		1.56	0.37	0.18
	2003-2015	12	10.40	-0.40	0.35	0.22
86	1933-1966	33		5.44	1.09	8.32
	1966-1969	3		6.99	9.98	55.11
	1969-1984	15		5.31	1.41	5.54
	1984-1993	9		5.05	2.21	7.85
	1993-2003	10		5.11	1.98	6.98
	2003-2015	12	27.98	6.58	2.01	8.71





## Ausblick Perspectives

- La mensuration géodésique nationale poursuit les séries chronologiques!  
«La prochaine étape sera l'évaluation globale de CHTRF2016, qui sera publiée plus tard cette année, et le suivi des travaux d'agrandissement du laboratoire du Mont Terri.
- Clarification du potentiel de l'interférométrie radar par satellite pour la mensuration nationale  
> **Colloque du 27 avril 2018**
- En outre, nous sommes en train de calculer des indicateurs d'exactitude aussi réalistes que possible pour les estimations de vitesse en utilisant des méthodes statistiques géodésiques et le potentiel d'ArcMap - Analyseur spatial et statistique pour les champs de vitesse à grande échelle, par ex. pour la détection de cluster, ou leur clarification
- Les séries chronologiques des stations permanentes GNSS du réseau AGNES et l'évaluation globale du CHTRF2016 suivront dans un autre colloque, probablement dans la série 2018/19

Danke für Ihre Aufmerksamkeit – Merci pour votre attention!



**Das nächste Kolloquium findet am 23. März 2018 um 10 Uhr zum Thema “Auswertung von Satellitendaten für Schweizer Kunden - NPOC use cases» statt.**

**Kontakt**  
Dienstleistungen  
Bezugsrahmen  
Geodäsie

**swisstopo**  
[matthias.kistler@swisstopo.ch](mailto:matthias.kistler@swisstopo.ch)  
[andreas.schlatter@swisstopo.ch](mailto:andreas.schlatter@swisstopo.ch)  
[urs.marti@swisstopo.ch](mailto:urs.marti@swisstopo.ch)

# Fin ▪ Ende

wissen wohin  
savoir où  
sapere dove  
knowing where

